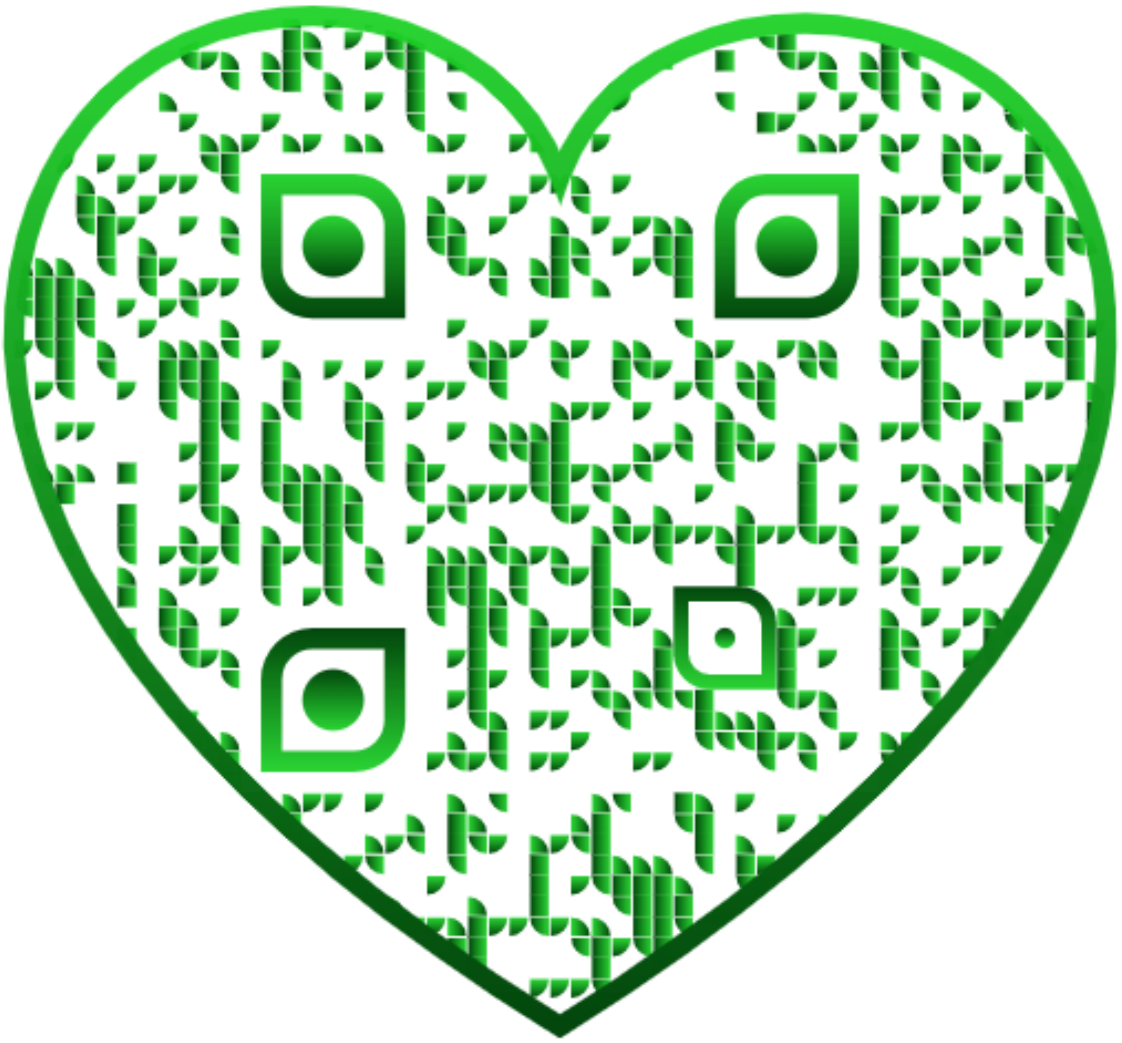
HOMMES | HABITAT | ENVIRONNEMENT

# rénover en basse consommation

MATTHIEU BOURGEOIS - SOPHIE BRONCHART - JEAN-FRANÇOIS RIXEN

l'inédite 2ème édition

SHOUT
SHARE
IT



# rénover en basse consommation

Collection | **HOMMES | HABITAT | ENVIRONNEMENT**

Cette collection a pour but de répondre aux questions que se posent le grand public et les professionnels sur la construction durable, la construction écologique et les grandes problématiques autour de l'environnement. À l'heure où le Grenelle de l'environnement met au cœur de notre société la réduction des émissions de $CO_2$ et qu'une course contre la montre a commencé, puisqu'il nous faut réduire par 4 les émissions de $CO_2$ d'ici 2050, il est plus que nécessaire d'informer correctement le public et de proposer des solutions adaptables à nos sociétés.
Les livres proposés sont écrits par des professionnels (architectes, techniciens...) et seront des références d'un point de vue technique. Ils permettent de répondre à l'ensemble des interrogations sur un sujet.

Photo couverture : Maison à Lesves / Sophie Bronchart
Photo 4ème de couverture : Maison à Floreffe / Géraldine Dupont

Collection HOMME | HABITAT | ENVIRONNEMENT
dirigée par :
**Christophe Hordé**

Déjà parus :

**Maisons passives : principe et réalisations**

**Construire une maison bioclimatique**

**Des maisons dans les arbres**

**Maisons et construction en bois : 142 réalisations**

**Puits canadiens et ventilation basse énergie**

**25 extensions bois**

Coordination :
**Nadia Daniel**

Première édition : septembre 2010, © L'Inédite
Tous droits réservés pour tous les pays.

Ce livre est une coédition entre :
L'Inédite - 6, rue Deguerry - 75011 Paris
Tél : (0033) (0)1 40 21 35 42 - www.editionslinedite.com
et
Editions Deuxième édition - Rue Panhard et Levassor - 78570 Chanteloup-les-Vignes
Tél. (33) (0)1 39 74 67 32 - mail : contact@deuxieme-edition.fr - www.2emeedition.com

l'inédite 2ème édition

**ISBN : 978-2-35032-192-9**
**ISSN : 1968-8458**
**Dépot légal : 3ème trimestre 2010**
**Imprimé par Stige en Italie**
La reproduction totale ou partielle de cet ouvrage, par tout procédé, est strictement interdite, y compris l'impression, la reprographie, le microfilm, le traitement informatique etc., sans autorisation écrite de l'éditeur.

HOMMES | HABITAT | ENVIRONNEMENT

# rénover en basse consommation

Matthieu Bourgeois - Sophie Bronchart - Jean-François Rixen

l'inédite 2ème édition

Les 4 réalisations en Région flamande en Belgique ont été réalisées dans le cadre du projet **LEHR** (Low énergy housing retrofit), rénovation des logements basse énergie du gouvernement fédéral belge. Il regroupe les professionnels du bâtiment, architectes, constructeurs, industriels et la plate forme maison passive flamande.

Ce programme vise à :

- Coopérer à l'analyse des statistiques nationales résidentielles, à la définition des stratégies de rénovation envisageables et à la détermination des priorités nationales
- Identifier des projets prototypes permettant de tester les méthodologies de pénétration du marché
- Développer une alliance et un réseau de contacts, afin de maximaliser la position et l'influence sur le marché
- Documenter la conception et prestation de projets exemplaires, ainsi que leur impact sur l'environnement, l'usage des ressources, l'infrastructure urbaine, la santé et la qualité d'habitation
- Sélectionner des paramètres-clé dans la conception
- Identifier sur le plan international des tendances, concepts et approches efficaces, et transcrire ces notions sous forme de conseils précis pour la conception.

LEHR

CSTC - WTCB - BBRI

AVANT-PROPOS ..... 4

I. PARTIE THÉORIQUE ..... 6
LES ENJEUX DE LA RÉNOVATION ..... 6
DU PROJET AUX DÉTAILS TECHNIQUES ..... 12
DÉFINITIONS ET LABELS ..... 18
LES ÉCONOMIES D'UNE RÉNOVATION ..... 28
ATTEINDRE LE STANDARD BASSE ÉNERGIE ..... 38

II. RÉALISATIONS EN FRANCE ..... 56
MAISON À VINCENNES ..... 56
MAISON À BAULE ..... 70

III. RÉALISATIONS EN BELGIQUE ..... 86
MAISON À EVERE ..... 86
MAISON À FLOREFFE ..... 100
MAISON À LESVES ..... 112
MAISON À ST GILLES ..... 128
MAISON À ST JOSSE ..... 144
MAISON À VIRTON ..... 160

IV. RÉALISATIONS EN BELGIQUE (PROJETS LEHR) 176
MAISON À DE PINTE ..... 176
IMMEUBLE À STERRENVELD ..... 190
MAISON À ANVERS ..... 208
MAISON À OUDENAARDE ..... 222

CRÉDITS PHOTOS ..... 233
INTERVENANTS PAR PROJET ..... 235
PRÉSENTATION DES AUTEURS ..... 236
REMERCIEMENTS ..... 236

# Avant-propos

Le monde du bâtiment va être confronté durant les prochaines années à un défi majeur : comment rénover des bâtiments, logements individuels ou collectifs, pour parvenir à une réduction drastique de leur consommation énergétique et par conséquent diminuer leur empreinte en $CO_2$. Le calendrier réglementaire pour chaque pays européen va peu à peu être plus exigeant. Passer rapidement à une consommation inférieure à 50 kWh/m².an et progressivement, dès 2020, à des bâtiments à énergie positive. Les labels qui existent déjà, Éffinergie, Maison passive, Minergie vont devenir courant. Certaines régions en Europe construisent déjà avec un objectif d'habitat passif, c'est-à-dire une consommation inférieure à 15 kWh/m² an pour le chauffage. En Allemagne, des grands acteurs immobiliers qui gèrent 80 000 logements sociaux, les rénovent avec la norme "Maison passive". En Autriche, la région du Vorarlberg oblige les constructeurs de logements sociaux à construire en passif. En Belgique, la Région de Bruxelles subventionne largement la mise aux normes des bâtiments en mode passif.

Ces nouvelles méthodes de construction sont déjà à l'œuvre et elles affichent des résultats probants. Ainsi, une maison labellisée BBC-effinergie de 158 m² de surface habitable construite en Alsace affiche un coût d'exploitation prévisionnel pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire de 240 € /an soit 1,52 TTC au m².an avec un budget total comprenant l'éclairage et les appareils ménagers de 400 € par an : c'est une révolution dans la conception des maisons. La comparaison vaut pour les maisons rénovées présentées dans ce livre, puisque certaines avaient des consommations de plus de 350 kWh/m².an. L'on mesure le chemin à parcourir. La moyenne française en 2010 est de 240 Whep/m².an et l'objectif du grenelle de l'environnement en France en 2020 est d'arriver à une moyenne de 91 à 150 kWhep/m².an. Dès 2012, la nouvelle réglementation thermique sera de 50 kWhep/m².an pour l'ensemble des bâtiments construits.

Les règles thermiques des bâtiments BBC en France ou Basse énergie en Belgique sont un peu différentes. En France, l'on englobe l'ensemble de la consommation qui est modulée suivant les régions (basse altitude, montagne, climat méditerranéen...), en Belgique on ne tient compte que de l'énergie primaire dépensée. Ces différentes règles, je l'espère, vont peu à peu s'harmoniser avec les directives européennes, car l'objectif commun à tous ces labels est la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de $CO_2$.

Cette révolution dans la construction neuve va aussi, peu à peu influer sur le bâti ancien. Ce sont plusieurs centaines de milliers de logements qui seront à rénover selon les nouvelles normes. C'est donc un marché très important pour les entreprises du bâtiment. La nécessité de réduire la consommation énergétique du bâti est une évidence, le coût du chauffage ne peut aller qu'en augmentant et la meilleure façon de le réduire est de ne pas consommer. Mais les compétences ne sont pas encore à la hauteur, comme les exemples de rénovation présentées ici le démontrent. Les maîtres d'ouvrage ont souvent eu quelques difficultés à trouver les bonnes entreprises et le savoir-faire manque. Le changement est en cours et je souhaite que ce livre permette à tout professionnel ou particulier de se former pour envisager des constructions durables et plus saines. Investir dans de meilleures constructions, dans la rénovation c'est investir pour l'avenir, les bâtiments durent plus longtemps, les problèmes de santé diminuent, tout concourt à cette révolution.

Les différentes réalisations présentées sont chacunes différentes car les bâtiments sont très divers, entre des habitations en campagne et des maisons de ville. Les problématiques de rénovation sont différentes. Nous avons souhaité aussi présenter la rénovation d'un immeuble collectif, qui, dans le cadre du programme LEHR de rénovation de bâtiment exemplaire, permet d'avoir une bonne vision sur la réhabilitation d'immeubles à loyer modéré. Il n'est pas interdit de penser qu'il existe aussi des solutions innovantes pour ces immeubles.

Nous aurons l'occasion de revenir dans une prochaine publication sur ces réhabilitations.

Christophe Hordé

# Les enjeux de la rénovation

## Rénover en basse énergie aujourd'hui

Difficile de résumer les enjeux de la rénovation du parc immobilier actuel. Ils sont multiples et transversaux. L'habitat occupe en effet une place centrale dans la vie de l'homme. Parfois qualifié de "troisième peau", l'homme s'identifie à son habitat. Il y trouve un refuge, un sentiment de sécurité, d'appartenance. Il y développe un mode de vie, des habitudes, des activités. Il s'y repose. L'habitat protège... du froid, du bruit, du curieux. Cette troisième peau est donc indispensable à l'épanouissement de l'homme, au développement de ses activités et à son bien-être au sens large du terme.

## Notre héritage : un parc immobilier à rénover

La durée de vie des habitats construits étant bien plus longue que celle d'une génération, nous héritons d'un parc immobilier toujours plus important. Cet ensemble existant comprend des types de bâtiment très divers correspondant à des vagues de construction répondant à des enjeux conjoncturels : reconstructions d'après guerre, logements ouvriers, logements social, quartiers urbains, lotissements néo-ruraux, etc.

**Résultat** : aujourd'hui une petite moitié des logements datent d'avant 1945 !

Ces typologies de logements anciens très divers ne répondent plus aux besoins actuels en matière d'espace, de sécurité, d'assainissement ou plus simplement de confort, notamment thermique : des maisons de maître en ville trop grandes pour les familles actuelles, des fermes en vente, des villas 4 façades des années 50 très mal isolées, des maisons préfabriquées à assainir, les maisons de lotissements construites entre les années 1960 et 1975, des sites industriels à réaffecter, etc.

**La nécessité de rénover ce parc immobilier existant est criante !**

Des contraintes techniques peuvent exister pour la rénovation de chaque type de maison : des prescriptions urbanistiques, des difficultés financières, la stabilité même du bâtiment, etc. Les exemples choisis dans ce livre, illustrent ces problématiques bien différentes et montrent que des solutions existent.

| Type de maisons | Période de construction | % du parc construit avant 2010 en Belgique | % du parc construit avant 2010 en France | Besoin de chauffage moyen en kWh/m².an | Caractéristiques |
|---|---|---|---|---|---|
| Maison vernaculaire | 18e, 19e début 20e siècle | 6% | 17% | Supérieur à 330 kWh/m².an | 4 façades<br>Volumétries diverses<br>Techniques traditionnelles |
| Maison urbaine moyenne | Début 20e siècle | 16% | 13% | Supérieur à 250 kWh/m².an | Mitoyenne ou semi mitoyenne<br>Techniques traditionnelles |
| Maison villageoise | Entre-deux guerres | 5% | | Supérieur à 250 kWh/m².an | Maison moyenne<br>Volumétrie simple<br>2 à 3 façades |
| Maison ouvrière modeste | Avant 1945 | 18% | | Supérieur à 250 kWh/m².an | Maison mitoyenne<br>Petit volume<br>Assainissement souvent nécessaire |
| Villa des premières extensions urbaines | Années 1930, 1950 et 1960 | 6% | 30% | Supérieur à 250 kWh/m².an | Moyenne à grande<br>Volumes divers<br>Ponts thermiques fréquents |
| Immeuble à appartement | Années 1960 et 1970 | 6% | | Supérieur à 125 kW/m².an | Toit plat, ossature béton, acier,, performances thermiques souvent médiocres chauffage électrique fréquent |
| Maison en lotissement | Années 70 et 80 | 13% | 22% | Supérieur à 190 kWh/m².an | Briques, béton, murs creux<br>4 façades |
| Appartement dans un bâtiment divisé | Années 70 et 80 | 6% | | Supérieur à 120 kWh/m².an | Souvent en location<br>Problèmes de qualité |
| Maison moderne | Années 1990 et 2000 | 24% | 17% | Supérieur à 120 kWh/m².an | Construction 4 façades.<br>Début de la réglementation thermique |

Les vagues de construction successives.

## L'enjeu énergétique : l'après-pétrole et le changement climatique

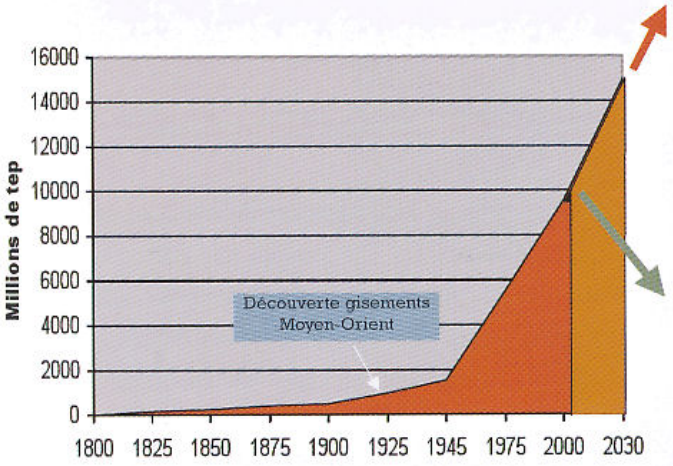
La période du tout pétrole est révolue. Si les prédictions divergent sur ce point, il est un fait certain : nous ne pouvons plus concevoir les habitations sans tenir compte de la raréfaction des combustibles fossiles, de l'augmentation du prix de l'énergie et du changement climatique.

Les parcs immobiliers belge et français sont, en moyenne, plus mal isolés que l'habitat moyen scandinave. Ce qui est compréhensible. Mais aussi moins bien isolés que l'habitat moyen portugais ! Ce qui est nettement moins compréhensible. La marge de manœuvre dans nos pays pour faire mieux est donc très large.

Les techniques de construction et de rénovation actuelles permettent de réduire drastiquement les besoins énergétiques des habitations. Dans certains cas, il est possible de diviser la facture énergétique par 10 dans une habitation. Les primes à l'énergie existantes dans plusieurs pays européens témoignent de la volonté politique d'aller dans ce sens.

Il est vrai que des sources d'énergie renouvelables (solaires, biomasses, bois, géothermie) sont aujourd'hui disponibles.

Le changement climatique annoncé nous invite toutefois d'emblée à la sobriété et à l'efficacité énergétique : **la meilleure**



Évolution de la consommation énergétique des ménages.

**énergie est celle que nous ne consommons pas !**

Les ménages sont responsables pour quelques 23% de la consommation d'énergie globale et 67,5% de celle-ci est consacrée au chauffage de l'habitation. La réduction des besoins énergétiques de l'habitation est donc un facteur essentiel de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

## Le défi social et économique

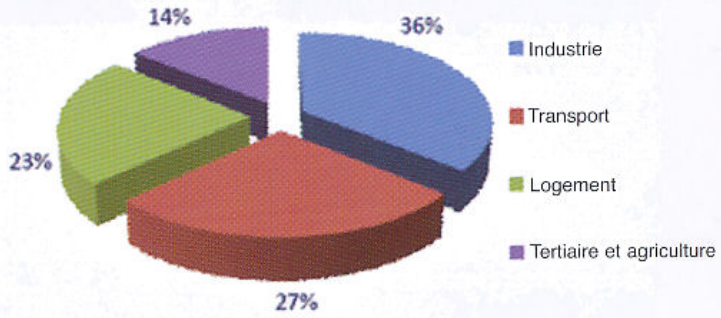
Programmer la rénovation basse énergie de l'ensemble du parc immobilier actuel est un défi socio-économique à plusieurs titres.

- le contexte actuel et la raréfaction des énergies fossiles invitent les pays à repenser leur indépendance énergétique. Celle-ci ne peut s'obtenir que conjointement à une réduction des besoins énergétiques allant de l'industrie à l'habitation unifamiliale
- la facture énergétique devient difficilement soutenable dans le logement social. Elle est parfois plus lourde que le loyer lui-même. Il convient donc de proposer des logements sociaux qui soient économes en énergie pour répondre à la crise du pouvoir d'achat
- les grands travaux que nécessite la rénovation du parc actuel sont une formidable source d'emplois potentiels liée au secteur de l'urbanisme, de l'architecture et de la construction
- pour le particulier, la rénovation permet de développer la plus-value de son bien immobilier et son confort

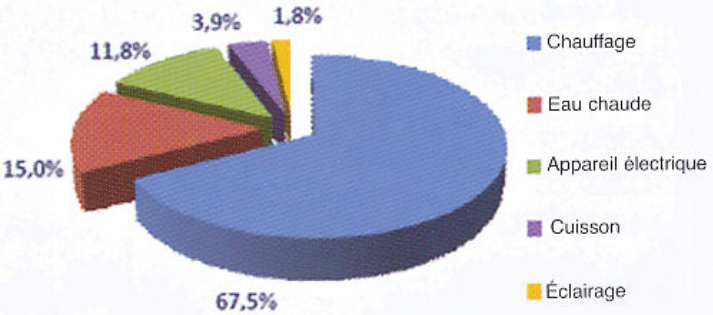
Le défi de la rénovation contemporaine peut amener à faire le grand écart entre des intérêts potentiellement divergents. Economiquement d'abord : les investissement financiers consentis pour la rénovation du parc immobilier pourront-ils s'amortir raisonnablement ? Ecologiquement ensuite : l'impact environnemental de la rénovation proprement dite est-il bien inférieur à celui de l'utilisation courante d'anciens bâtiments ? Sur l'isolation raisonnée d'un bâtiment, il est un fait certain que l'énergie grise nécessaire à ces travaux sera bien vite compensée par la réduction des besoins de chauffage. Enfin, la rénovation pose aussi des cas de conscience patrimoniaux. Entre la préservation du patrimoine architectural d'une part, et l'urgence de l'efficacité énergétique des habitations de l'autre, le choix politique peut s'avérer difficile.

Étant donné l'âge de notre patrimoine immobilier et la durée de vie des éléments de construction, il semble évident qu'une rénovation profonde du patrimoine doit être réalisée, une occasion à ne pas manquer pour en améliorer les performances énergétiques et réduire drastiquement les besoins en chauffage des ménages.

### Répartition des consommations énergétiques des ménages



Consommation finale d'énergie en Belgique.



Consommation d'énergie d'un ménage wallon sans les transports.

Le problème étant posé, les rénovations de bâtiments résultent à la fois de ces tendances sociétales mais aussi plus simplement de l'adaptation à des effets de mode, à l'envie de davantage de confort ou à la nécessité d'assainir ou d'embellir une habitation. Il convient dès lors de concilier les arguments économiques, écologiques et culturels pour une rénovation raisonnée sur le long terme.

## Améliorer le bien être dans nos habitations

Le développement de la vie sur terre s'est opéré grâce à la conjonction de conditions favorables à son émergence : l'humidité, la température, les rayonnements, la composition de l'air, etc. Ces mêmes facteurs sont aujourd'hui des déterminants essentiels du maintien de la vie, de la préservation de la santé, et plus globalement, de notre bien-être.

Dans une habitation, notre sensation de confort sera aussi déterminée par les facteurs de confort thermique, l'humidité, la composition de l'air et les rayonnements. Que nous le voulions ou non, nous sommes soumis à l'influence de ces facteurs.
Lors de la rénovation d'un bâtiment, le maître d'ouvrage et l'architecte seront sensibles à intégrer ces éléments de confort dans les choix à réaliser. Ceux-ci sont autant de facteurs susceptibles d'influencer positivement ou négativement notre confort, voire notre santé. Les divers problèmes de pollutions intérieures en témoignent : apparition de moisissures due à l'humidité, composés organiques volatiles, amiante, sensibilité aux champs électromagnétiques pendant le sommeil, etc.
La tendance à l'éco-bio-construction vise à intégrer la sensibilité de l'homme à son habitat, au-delà de la qualité technique et fonctionnelle du bâtiment. Par exemple, la réduction des pollutions intérieures par le choix de matériaux essentiellement naturels, l'optimisation de l'éclairage naturel, le chauffage par rayonnement plutôt que par convection, la réduction des sources artificielles de pollutions électromagnétiques, etc.

## Urgence d'un changement radical !

Ces rapides constats, nous permettent de mieux comprendre la nécéssité de la rénovation. Elle joue un rôle primordial dans la problématique énergétique. Le parc immobilier existant est énergétiquement peu performant. L'impact de celui-ci sur la consommation énergétique d'un pays est important au même titre que les transports.

Le coût des énergies de chauffage augmente et, selon les prévisions, la tendance ne devrait pas s'inverser.

Toute personne qui acquiert ou qui dispose d'une habitation ou d'un bâtiment devrait absolument poser sa réflexion de rénovation sur le long terme. Une rénovation motivée par la seule question de la rentabilité financière a peu de chance de trouver de futurs locataires ou futurs acquéreurs au prix voulu par le vendeur. La qualité énergétique des bâtiments va entrer dans les mœurs. Leur performance énergétique deviendra ainsi un facteur essentiel de l'évaluation d'un bâtiment lors d'une vente ou d'une location.

L'amélioration du confort sera également un critère supplémentaire pour rénover sans devoir se dire que le système de chauffage devra fonctionner à plein régime pour apporter de la chaleur dans les périodes froides et inconfortables d'hiver.
Pour cela, des rénovations basse énergie, très basse énergie et passives intégrant dans la mesure du possible des matériaux écologiques semblent être l'unique réponse possible.

Ce livre propose une méthodologie pour concevoir et réaliser des rénovations ambitieuses sur le plan énergétique.

| Techniques revêtements | Eléments constructifs | Durée de vie |
|---|---|---|
| Gros œuvre | Fondation | > 50 ans |
| | Maçonnerie | > 50 ans |
| | Plafond en béton | > 50 ans |
| | Charpente | > 50 ans |
| | Couverture inclinée | > 30 ans |
| | Couverture plate | < 30 ans |
| Finition | Châssis en bois | > 20 ans |
| | Plafonnage | > 20 ans |
| | Cloisons | > 50 ans |
| | Isolation | > 30 ans |
| | Joints élastiques | 5 à 10 ans |
| | Tuiles de toiture | > 20 ans |
| Techniques | Installation | > 30 ans |
| | Electricité/Chauffage | > 30 ans |
| | Sanitaire | > 30 ans |
| | Installation solaire | > 20 ans |
| | Chaudière | 15 à 25 ans |
| | Evier/douche/baignoire | 15 à 25 ans |
| Revêtement | Traitement de châssis en bois | 3 à 5 ans |
| | Enduit extérieur | 5 à 20 ans |
| | Tapis | 10 à 15 ans |
| | Plancher | 5 à 20 ans |

Durée de vie moyenne des éléments de construction mis en œuvre.

Performance énergétique

Questionne

# Du projet aux détails techniques

## Réussir une rénovation

La rénovation d'une maison, et en particulier l'amélioration de sa performance énergétique, est une démarche qui peut être longue et nécessiter des efforts de questionnements, de contacts et de suivi de chantier avec aussi beaucoup de plaisir et de satisfaction au bout du compte.

Pour réussir une rénovation, le maître d'ouvrage devra s'investir dans la compréhension de son bâtiment, de son état physique ainsi que dans l'éclaircissement de ses propres objectifs.

La fin de la première partie propose une synthèse des différentes typologies de rénovation et rassemble les éléments à prendre en compte dans la mise en route d'un projet de rénovation qu'il soit de type :

- intervention légère : rénovation sans réels travaux
- rénovation légère sans modification de la structure et de l'espace
- rénovation plus lourde avec modification de la structure et/ou de l'espace
- rénovation lourde basse énergie
- rénovation lourde très basse énergie ou passive

## Se poser les bonnes questions

La rénovation a des particularités que ne connaît pas la construction d'une nouvelle maison :

- obligation de partir d'une situation existante : orientation, implantation, structure physique du bâtiment
- difficulté relative de prévision des dépenses des travaux
- nécessaire étalement des décisions et phasage des travaux
- obligation de tenir compte de la présence éventuelle des occupants et du voisinage pendant les travaux
- prise en compte des réglementations urbanistiques et thermiques

**Au moment d'acheter**

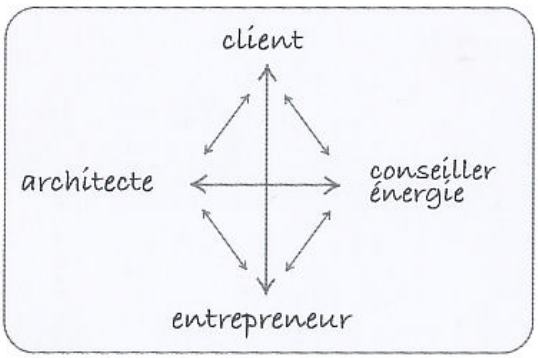
Le maître d'ouvrage doit s'investir dans la compréhension de son bâtiment et de la problématique énergétique, et se poser les bonnes questions dans le bon ordre. Le conseil et l'aide de professionnels (architecte, conseiller énergie, entrepreneurs, etc.) peuvent s'avérer souvent nécessaires et judicieux lors de cette phase.

Si cela n'est pas trop tard, le maître d'ouvrage peut faire valoir une série de critères à l'achat. La maison dispose-t-elle d'un certificat énergétique ? Quelle était la consommation énergétique des anciens occupants ? De quels moyens financiers le maître d'ouvrage devrait-il disposer pour la rénovation après l'achat ? Quelles sont les durées de vie prévisibles des divers éléments constructifs de la maison ? Quels seront les travaux indispensa-

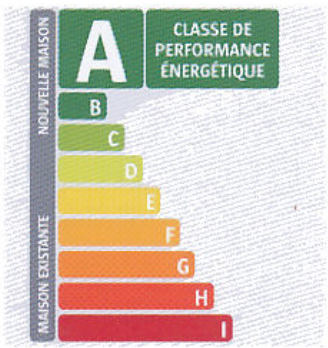
bles et facultatifs à réaliser ? Présence d'humidité ? (infiltration d'eau, remontées capillaires, problèmes de condensation sur les murs). Problèmes de stabilité éventuels ? Quelle sera la valeur de la maison une fois les travaux effectués ? Quelles sont les prescriptions urbanistiques à respecter ? Comment le voisinage voit-il le développement du quartier ?

Une fois dans la maison, naissent des envies et des nécessités de rénover et/ou d'assainir le bâtiment. Par exemple, certains travaux doivent être réalisés car les installations techniques sont vétustes ou certains revêtements se dégradent. En complément, certains travaux peuvent être effectués par le maître d'ouvrage pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment, réduire la consommation, améliorer le confort ou plus simplement pour retravailler l'esthétique des façades.

**Le maître d'ouvrage gardera à l'esprit qu'il vaut mieux se faire conseiller avant d'entamer toute phase de travaux.**



Démarche intégrée.



Certificat de performance énergétique.

### Pourquoi rénover ?

La rénovation induit des coûts importants. Les mesures apportées ne s'amortissent pas toutes au même rythme. Aussi est-il important de répondre à une série de questions afin d'atteindre les objectifs visés tout en respectant le budget de rénovation donné par le maître d'ouvrage.

Une fonction énergétique exemplaire qui peut aller jusqu'à la maison à énergie positive ? Une réduction des coûts d'utilisation ? Ou un travail essentiellement esthétique avec le bénéfice complémentaire d'une réduction de la facture énergétique ?

### Pour quelle performance énergétique ?

Simplement mieux que le niveau de départ ? Faut-il se baser sur des techniques déjà largement éprouvées ? Prendre plus de risques avec des nouvelles technologies que le maître d'ouvrage sera fier de mettre en œuvre ? Ou plutôt investir dans les économies avec l'isolation ?

### Avec quel partenaire ?

Tout déléguer à l'architecte et à des entreprises pour éviter un maximum de stress ? Suivre les entrepreneurs sur le chantier ? Prendre le temps de participer activement à certaines phases du chantier ? Un architecte est-il indispensable ? Un ingénieur stabilité est-il nécessaire ? L'architecte doit-il être compétent dans le domaine énergétique et soucieux des économies de chantier ou encore créatif ? Faire appel à un conseiller énergie ou bureau d'étude spécialisé serait il judicieux ?

Présence d'humidité.

Pour résumer, les motivations des maîtres d'ouvrage pour rénover les bâtiments peuvent être très diverses :

- augmentation de l'espace de vie
- amélioration du confort de vie
- assainissement suite à l'apparition de moisissures dues aux problèmes d'humidité
- amélioration de l'esthétique du bâtiment par la rénovation des façades
- réduction de la facture énergétique
- indépendance énergétique
- recours à des énergies renouvelables
- maintien ou augmentation de la valeur vénale du bâtiment
- valorisation des subventions à la rénovation et/ou des primes énergies
- vivre dans une maison écologique

Toutes ces motivations peuvent être une bonne occasion d'améliorer les performances énergétiques du bâti, sans perte de confort.

| Décisions à prendre | Amélioration du confort | Amélioration énergétique |
|---|---|---|
| Fenêtre plus grande et plus isolante | Gain de luminosité, réduction de la convection devant les fenêtres, augmentation de la température des parois vitrées | Meilleur cœfficient d'isolation, gain solaire passif, réduction de la consommation électrique pour l'éclairage |
| Isolation des murs extérieurs | Augmentation de la température des parois, réduction des risques de condensation et des ponts thermiques | Réduction des déperditions thermiques |
| Aménagement des combles | Augmentation de la superficie habitable à prix très concurrentiel, amélioration esthétique | Réduction des déperditions thermiques par l'isolation du toit |
| Renouvellement du revêtement de sol | Réduction des bruits d'impact, isolation phonique, pieds chauds | Réduction des déperditions thermiques |
| Installation solaire thermique | L'idée même d'une eau chauffée gratuitement | Couvre jusqu'à 50% des besoins en eau chaude sanitaire, jusqu'à 30% des besoins en chauffage |
| Installation solaire photovoltaïque | Peut constituer une source de rentrée d'argent sur 20 ans. | Couvre potentiellement une partie importante des besoins électriques |
| Rénovation de l'installation de chauffage | Confort, facilité de réglage | Amélioration du rendement |
| Ventilation mécanique contrôlée | Amélioration potentielle de la qualité de l'air | Récupération de chaleur |

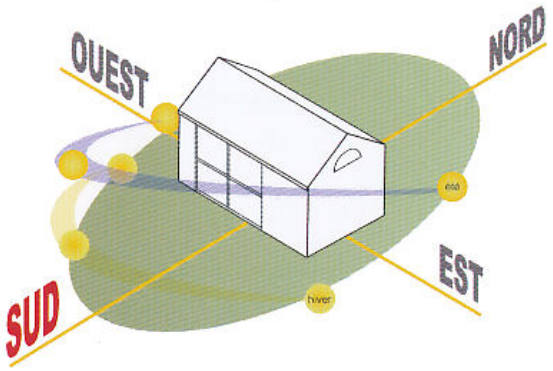
**Exemples de mesures de rénovation améliorant le confort et les performances énergétiques.**

## Faire un bilan avant de commencer

Un bilan global du bâti, un bilan énergétique, une liste de priorités et une bonne planification des travaux seront nécessaires au bon déroulement des travaux de rénovation. La plupart des chantiers de rénovation chaotiques sont en effet le fruit d'une mauvaise évaluation des besoins et de la planification.

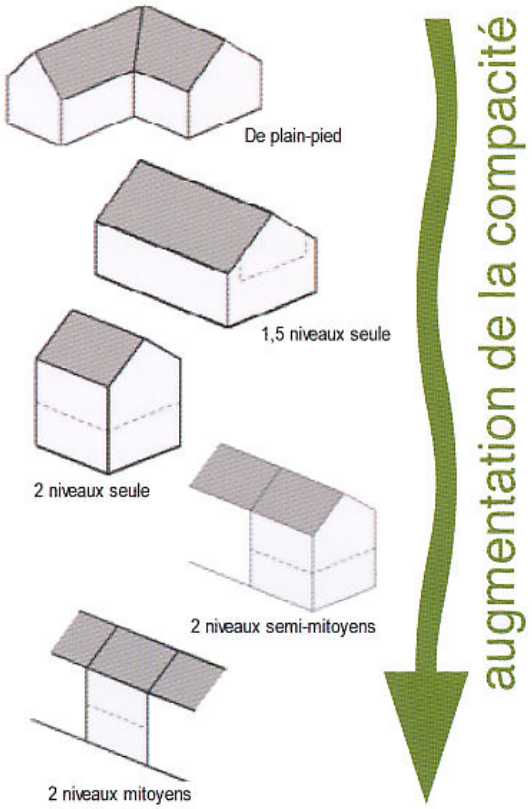
**Bilan global du bâti avant travaux**

- données générales : type de maison, situation, orientation, superficie, volume chauffé, année de construction
- description des éléments constructifs de l'enveloppe extérieure : surface, cœfficient d'isolation thermique, composition des parois existantes
- chauffage et eau chaude sanitaire : type de chauffage, année d'installation, rendement, combustible, etc.
- bilan énergétique : calcul des besoins en énergie primaire, audit énergétique, analyse des factures actuelles
- subventions : accessibles à chaque échelon politique : fédéral, régional, communal (municipal), prêts verts, prêts sociaux
- prescriptions urbanistiques et contacts avec le voisinage




Favoriser l'orientation de la maison par les apports solaires.

Le bilan global sera à priori réalisé par un architecte. Pour la réalisation d'un bilan énergétique, il convient cette fois de faire appel à un bureau de conseil spécialisé dans les performances énergétiques du bâtiment car ce n'est pas toujours une priorité pour l'architecte. Celui-ci passera en revue les divers aspects essentiels pour rénover de manière efficace en établissant un programme des priorités de rénovation, en fonction des budgets et/ou d'un étalement des dépenses dans le temps.




Compacité du bâti.

**Bilan énergétique du bâti avant travaux**

- l'orientation : principes bioclimatiques, apports solaires passifs, disposition des pièces de vie, luminosité, masque solaire, implantation
- la compacité : maximiser le volume de vie, minimiser les surfaces de déperditions calorifiques
- l'isolation : sols, murs, toitures, fenêtres, portes
- les ponts thermiques : les points faibles, les risques de condensation, la continuité de l'isolant
- l'étanchéité à l'air : les fuites, les déperditions
- la ventilation : manuelle, contrôlée, échangeur avec récupération d'énergie
- la surchauffe : protection solaire au sud et à l'ouest pour l'été
- le système de chauffage : rendement, isolation des conduits

**Bilan énergétique encore plus détaillé par :**

- la mesure de la température des parois intérieures : thermographie à réaliser en hiver de préférence afin d'identifier les ponts thermiques, les risques de condensation, les fuites dans l'enveloppe (tour de fenêtre, balcon, coin de murs sor-

Test blowerdoor.

tant, caisson de volet, discontinuité dans la pose d'un isolant, etc.)

- un test d'étanchéité à l'air : le "Blower-Door Test" permet de mettre l'ensemble de la maison en surpression et dépression, et de repérer les ruptures d'étanchéité à l'air de l'enveloppe (porte de la cave, tour de fenêtre, raccord plancher - mur, prises électriques, décharge d'eau, impétrants divers, etc.)
- les éléments du confort thermique de l'habitation : température de l'air et des parois, hygrométrie, courant d'air, effusivité des matériaux (vitesse à laquelle la température de surface d'un matériau se réchauffe), risque de surchauffe, ainsi que la sensibilité des occupants à ces divers éléments.

Ces éléments complémentaires permettront de cibler les travaux prioritaires à mener pour l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment.

## Planifier les travaux de rénovation

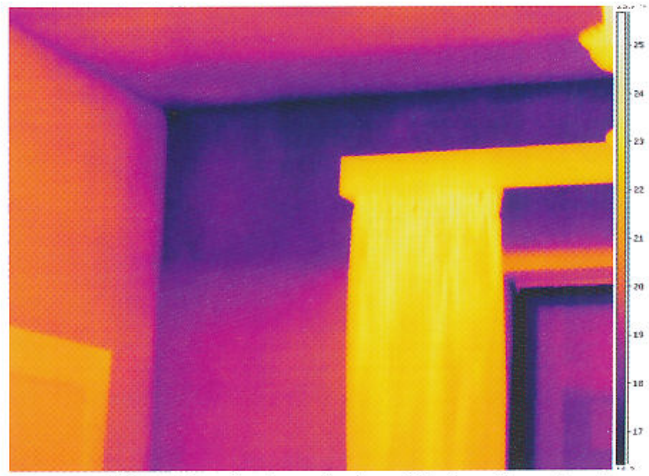
Des croquis pourront ensuite être réalisés afin de répondre aux questions suivantes :

- comment adapter et faciliter la circulation dans les pièces ? Quelle sera la vue vers l'extérieur ?
- faut-il modifier la fonction et la disposition de certaines pièces de vie ?
- de quel espace le maître d'ouvrage aura-t-il besoin dans la maison ? De quelle séparation ? Quelle intimité ?
- faut-il pour cela démolir des murs porteurs ? Modifier des fenêtres ? Aménager les combles ?

Les réponses à ces questions pourront avantageusement tenir compte de critères de choix énergétiques : compacité, orientation des pièces, proportion de vitrage, luminosité, gain solaire passif, etc.

**Une liste de priorités** pourra alors être établie. Celle-ci pourra distinguer les travaux prioritaires et des travaux facultatifs. Avec un **budget travaux** défini et la liste de priorités, l'architecte sera à même de réaliser des plans d'ensemble, des coupes détaillées et des métrés quantitatifs et estimatifs.

Enfin, **la planification des travaux** tiendra compte des contraintes et souhaits des maîtres d'ouvrage, mais aussi de la disponibilité des entrepreneurs. Il est assez connu que dans la rénovation, il n'est pas toujours aisé de trouver des entrepreneurs au bon moment. Le phasage et la hiérarchisation des travaux sont donc essentiels. En rénovation, les entrepreneurs susceptibles de prendre part au chantier sont multiples. Ils seront nécessairement amenés à s'adapter les uns aux autres pour ne pas négliger la qualité globale de la mise en œuvre. La planification des travaux pourra finalement s'étaler sur plusieurs années, en tenant compte du budget des maîtres d'ouvrage. Le maître d'ouvrage pourra prévoir des phases fixes de travaux et des phases plus souples lui laissant le temps de réflexion nécessaire afin de ne pas brûler des étapes et de pouvoir mûrir son projet.


Réduction de température à la jonction plancher mur extérieur - zone froide. Thermographie.

passif

éffinergie

minergie

# Définitions et labels

# BASSE normes abels énergie

## Introduction

Les maisons rénovées en basse énergie sont des bâtiments qui, après rénovation, permettent de limiter fortement la consommation énergétique nécessaire à les chauffer avec une certaine quantité d'énergie exprimée en kWh/m².an ou litre mazout/m².an. Lors de la phase de conception, ces habitations doivent faire l'objet d'une analyse approfondie et globale relative aux aspects liés au confort intérieur et aux économies d'énergie. L'analyse thermique en amont (phase d'avant projet) est une étape inévitable pour ce type de rénovation mais l'étape de réalisation est tout aussi importante et doit se faire avec beaucoup de soin et de compréhension de la part des différents corps de métiers, au risque de ne pas atteindre l'objectif énergétique fixé au départ par le maître d'ouvrage. Cette précision et ce soin ne sont pas souvent la norme à l'heure actuelle dans le domaine de la construction.

Basse énergie (BE) ou basse consommation en France (BBC), très basse énergie (TBE), passif (MP) - la philosophie reste toujours la même. Ce qui change ce sont les exigences et les critères du besoin en énergie pour se chauffer.

À titre d'exemple, une maison existante quatre façades ayant pour objectif d'être rénovée selon le critère BE divisera sa facture de chauffage par +/- 3,5. Si l'objectif de départ est la TBE la facture énergétique sera divisée par 7. Si les possibilités techniques le permettent et que l'objectif de rénovation est le passif, la facture se verra divisée par 13.

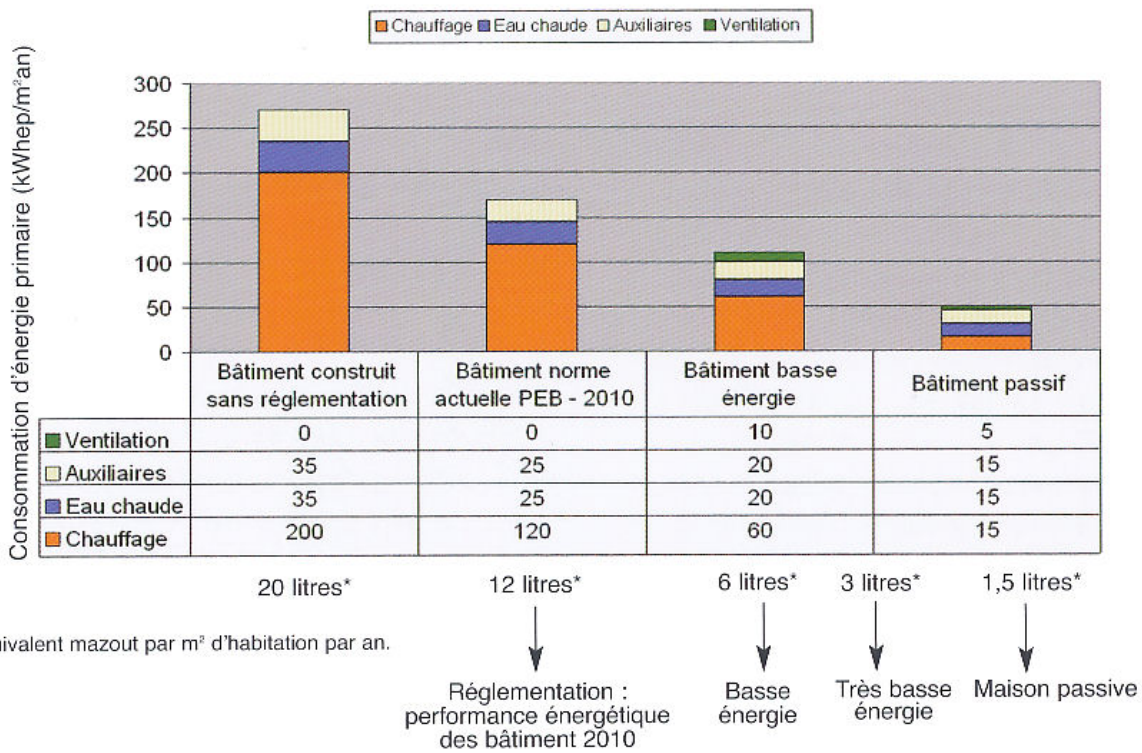
La question que tout le monde doit finalement se poser au départ d'un projet de rénovation est "pourquoi pas une rénovation basse énergie ou très basse énergie" ?

La consommation énergétique moyenne pour le chauffage des bâtiments datant d'avant la réglementation thermique (années 1980) tourne autour des 200 kWh/m²an, soit approximativement 20 litres mazout/m².an. Les réglementations thermiques mises en œuvre depuis ont eu pour objectif de diminuer la consommation énergétique des nouveaux bâtiments construits. Toutefois, la réglementation actuelle PEB-2010 en Belgique n'impose pas encore un seuil de consommation fort contraignant, à savoir pour une nouvelle construction de l'ordre de 120 kWh/m².an pour le chauffage, soit 12 litres de mazout/m².an.

Pour la rénovation, il n'y a pas de seuil maximum de consommation prévu à ce jour, le diagnostique thermique est obligatoire à la location ou à la vente, et pour les rénovations les aides sont conditionnées à des performances thermiques

Seule une exigence sur l'isolation des parois rénovées (valeur U maximum en Belgique – et valeur R en France ) est demandée mais cela reste clairement insuffisant (Umax et valeur K).
À ce jour, les labels et les aides financières permettent de tirer de plus en plus de projets de rénovation vers une qualité énergétique supérieure à la réglementation. Dans certaines régions, on assiste à un renforcement des conditions d'octroi des subventions ou crédits d'impôts. Alors que les critères pour obtenir ces aides sont plus stricts que la réglementation en vigueur !

**Scénario de consommation énergétique globale d'une maison unifamiliale 4 façades en Belgique**




| | Bâtiment construit sans réglementation | Bâtiment norme actuelle PEB - 2010 | Bâtiment basse énergie | Bâtiment passif |
|---|---|---|---|---|
| Ventilation | 0 | 0 | 10 | 5 |
| Auxiliaires | 35 | 25 | 20 | 15 |
| Eau chaude | 35 | 25 | 20 | 15 |
| Chauffage | 200 | 120 | 60 | 15 |
| | 20 litres* | 12 litres* | 6 litres* | 3 litres* 1,5 litres* |
| | | Réglementation : performance énergétique des bâtiment 2010 | Basse énergie | Très basse énergie Maison passive |

* Litres équivalent mazout par m² d'habitation par an.

Ce graphique représente la consommation énergétique d'un même bâtiment selon différentes exigences énergétiques. Bâtiment avant toute réglementation, avec des consommations énergétiques globales au-delà de 250 kWh/m².an.
La réglementation actuelle sur la performance énergétique des bâtiments (la directive européenne 2002/91/CE - sur la performance énergétique des bâtiments tourne définitivement la page de l'insouciance énergétique dans la construction) contraint les nouvelles constructions dans un premier temps à ne pas consommer au-delà d'un certain seuil variable selon les régions et pays. À l'extrême, on retrouve le bâtiment passif.

L'évolution des réglementations est de tendre toujours plus à la baisse des consommations énergétiques. Elles deviendront de plus en plus contraignantes.

# Critères et références énergétiques nationaux et européens

Selon les pays et à travers l'Europe les références, exigences ou labels énergétiques se multiplient. Au niveau national cela ne pose pas vraiment de difficulté, mais au niveau européen cela commence à devenir complexe. En France, on parlait de RT2005, de HPE, de THPE, et récemment de BBC-Effinergie. En Suisse, le label Minergie se décline selon trois catégories Minergie Standard, Eco, et Passif. En Belgique, le label principal est celui du Passivhaus allemand.
La base de calcul entre ces différents labels est souvent différente. Certains utilisent la surface habitable (SHAB) ou la surface de référence énergétique (SRE) et d'autres la surface hors d'œuvre nette (SHON). Certains utilisent l'énergie utile ou finale et d'autres l'énergie primaire pour comparer les besoins en énergie.

La réglementation européenne sur la performance énergétique des bâtiments (2002/91/CE), dite PEB, a pour objectif principal de promouvoir l'amélioration de la performance énergétique et du climat intérieur des bâtiments, de minimiser les besoins en énergies primaires et ainsi de réduire les émissions de $CO_2$. Cette réglementation doit être intégrée dans les réglementations nationales des différents pays européens, mais les étapes et la manière de l'intégrer ne sont pas imposées, les états membres sont libres de définir leurs outils et leurs réglementations tant qu'ils atteignent les objectifs énergétiques imposés.

Tous ces labels ou critères énergétiques sont difficilement comparables entre eux. Cela est dû au manque d'uniformité dans les réglementations et les méthodes de calculs. Mais tous ont pour objectif de tendre vers une diminution drastique des besoins en énergie des bâtiments en construction et en rénovation.

## COMPARAISON ENTRE LES DIFFÉRENTES NORMES EN FRANCE

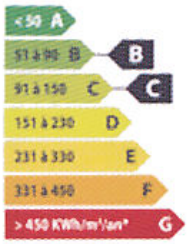
La RT 2005 est la norme minimale obligatoire. Il existe 3 zones réparties entre l'ouest, le nord et le sud (PACA et Corse) les normes sont différenciées en fonction de l'altitude et de la localisation. La consommation maximale d'énergie primaire, chauffage eau chaude, ventilation, climatisation, éclairage est de 80 kWh/m².an pour la zone H3 à 130 kWh/m².an pour les combustibles fossiles et de 130 kWh/m².an à 250 kWh/m².an avec chauffage électrique.

- **HPE (haute performance environnementale)** : 10% d'énergie consommée en moins par rapport à la RT 2005. Consommation maximale d'énergie primaire : 170 kWh/m².an.
- **THPE (très haute performance environnementale)** : 20% d'énergie consommée en moins par rapport à la RT 2005. Consommation maximale d'énergie primaire : 150 kWh/m².an.
- **THPE Enr (énergie renouvelable)** : consommation énergétique inférieure de 30% à la RT2005 et avec au moins une des exigences suivantes :
  - au moins 50% de la production d'eau chaude sanitaire est assurée par des panneaux solaires et plus de 50% du chauffage est produit par un générateur utilisant la biomasse
  - au moins 50% de la production d'eau chaude sanitaire est assurée par des panneaux solaires et plus de 60% du chauffage est produit par un réseau utilisant des énergies renouvelables
  - au moins 50% de la production d'eau chaude sanitaire et du chauffage est assurée par des panneaux solaires
  - bâtiment équipé d'un système de production d'électricité utilisant des énergies renouvelables, assurant une production annuelle de plus de 25 kWh/m².an
  - bâtiment équipé d'une pompe à chaleur répondant à des caractéristiques minimales
  - immeubles collectifs dont la production d'eau chaude est assurée à plus de 50% par des panneaux solaires

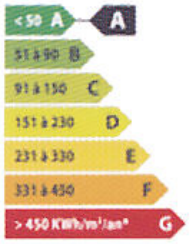
**BBC – Effinergie** (bâtiment basse consommation) : 70% d'énergie consommée en moins par rapport à la RT 2005, (consommation maximale d'énergie primaire : 40 kWh/m².an à 75 kWh/m².an selon la zone climatique et l'altitude.
La RT2012 vise à diminuer encore plus la consommation énergétique pour arriver en 2020 à des constructions aux normes BBC.
**Plus d'info :www.ademe.fr www.effinergie.fr**

Le parc de maisons anciennes est très consommateur d'énergie. Le Grenelle de l'Environnement a inclu une série de mesures pour aider à la rénovation.

La réglementation thermique RT 2005 s'impose à toutes les maisons dont le permis de construire a été déposé après le 1er septembre 2005. La réglementation RT 2012 doit s'imposer à partir du 1er janvier 2011.




Le niveau THPE est exigeant. Le constructeur doit soumettre ses chantiers à des audits sur pièces et sur chantier pour démontrer un niveau de performance énergétique globale encore inférieur à la RT2005.




C'est le niveau le plus ambitieux. Il répond dès aujourd'hui à l'objectif des pouvoirs publics qui est d'atteindre en 2012 le niveau basse consommation, soit moins de 50 kWh/$m^2$.an. Une maison BC consomme moitié moins qu'une maison réalisée sous le label RT2005.

## Définitions

**L'énergie primaire :** somme des énergies directement prélevées de la planète (pétrole, gaz, uranium...), nécessaires pour livrer 1 kWh au consommateur. Elle comprend l'énergie d'extraction, de transformation, de transport, de distribution, etc... jusqu'à l'énergie utilisée par le consommateur final.

**L'énergie finale** : énergie mesurée sur le lieu de consommation. C'est l'énergie fournie aux consommateurs pour être convertie en énergie utile. Elle correspond aux besoins énergétiques multipliés par le rendement de l'installation de chauffage.

**L'énergie utile ou le besoin net en énergie :** énergie dont dispose le consommateur final après la dernière conversion par ses propres appareils. Elle correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer votre habitation.

## SATISFAIRE À LA PEB EN BELGIQUE

Faire construire et rénover en économisant l'énergie commence dès le premier coup de crayon de l'architecte. Il est essentiel, dès la phase de conception d'une nouvelle maison ou de travaux de rénovation, de tenir compte des valeurs d'isolation, de performance énergétique et de ventilation prescrites. Et donc, de la consommation d'énergie future.

Réfléchissez à la question avec votre architecte et/ou votre conseiller énergie et parcourez cette check-list. N'oubliez surtout pas les paramètres suivants :

- la compacité et l'orientation de la maison
- l'isolation thermique dans la toiture, les murs et les sols
- un vitrage à haut rendement et des châssis isolants
- la gestion des ponts thermiques
- l'étanchéité à l'air de la maison
- un système de ventilation
- un pare-soleil qui maintient le surplus de soleil estival à l'extérieur
- l'exploitation de la chaleur solaire (orientation et éventuellement, un chauffe-eau solaire)
- une installation de chauffage et d'eau chaude sanitaire à haut rendement

Toutes les mesures prises pour obtenir une maison peu énergivore, comme une isolation de qualité et un système de ventilation efficace ont un effet positif sur la réduction de la consommation totale d'énergie.

La mesure utilisée pour exprimer la consommation d'énergie primaire est le **cœfficient E** ou cœfficient de performance énergétique. Cette valeur E donne une idée de la consommation énergétique de la maison et de ses installations fixes dans des conditions dites normales (chauffage, eau chaude sanitaire, auxiliaires, refroidissement).

Il s'agit également de respecter les cœfficients habituels tel que le **niveau K** (cœfficient global d'isolation), les valeurs Umax de paroi, et un indicateur de surchauffe.

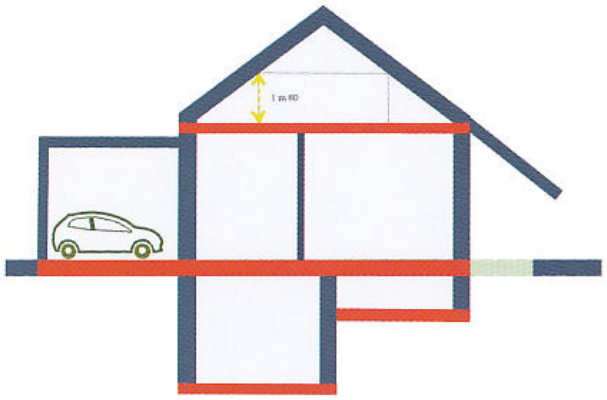
Plus la valeur E est faible, moins la maison consomme d'énergie.

**Plus d'info :**

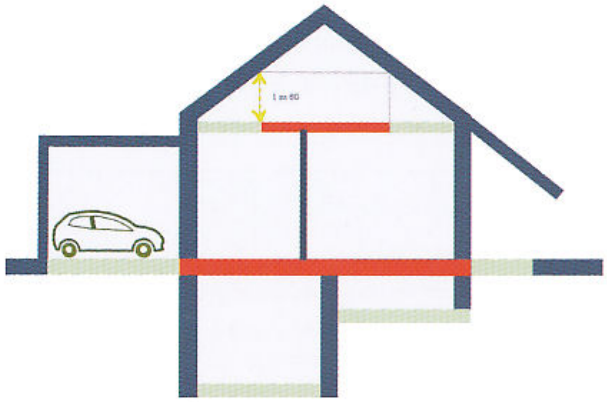
**www.energie.wallonie.be - www.energiesparen.be - www.ibgebim.be**

**Base de calcul des surfaces de plancher selon les différents labels et référentiels énergétiques**

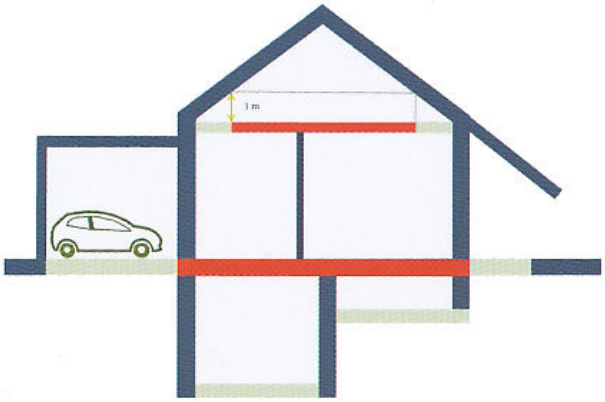
Surface à prendre en compte  Surface à ne pas prendre en compte



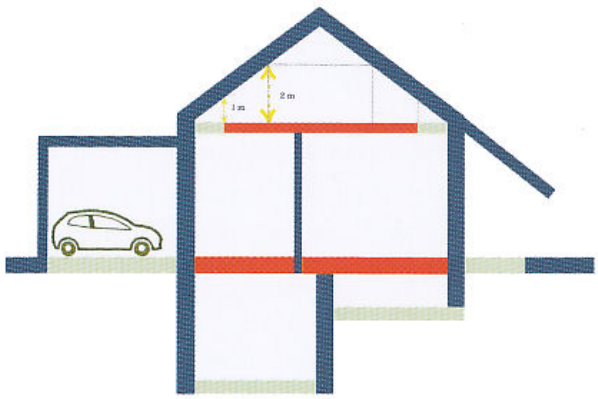
**SHOB (Surface Hors d'Œuvre Brute) =**
Surface de plancher au nu extérieur des murs
+ sous-sols aménageables ou non
+
balcons, loggias et toitures-terrasses
+
parties non-closes situées au RDC



**SHON (Surface Hors d'Œuvre Nette) =**
**SHOB**
-
espaces non isolés et/ou non habitables (combles et sous-sols non aménageables, surfaces de stationnement, surfaces non closes)
-
espaces dont la hauteur est inférieure à 1,80 m.
- surface égale à 5% de la SHOB affectée à l'isolation du bâtiment



**SRE (Surface de Référence Énergétique) =**
**SHOB**
-
espaces non isolés et/ou non habitables (combles et sous-sols non aménageables, surfaces de stationnement, surfaces non closes)
-
espaces dont la hauteur est inférieure à 1 m et pondération pour les hauteurs supérieures à 3 m.



**SHAB (Surface HABitable) =**
**Somme des pièces du projet**
-
murs intérieurs et cloisons
-
espaces non isolés et/ou non habitables (combles et sous-sols non aménageables, surfaces de stationnement, surfaces non closes)
-
espaces dont la hauteur est inférieure à 1 m.
-
50% des espaces dont la hauteur est comprise entre 1 et 2 m.

## Les labels

Bien que les labels les plus connus, à savoir, Passivhaus, Minergie, et Effinergie, utilisent l'unité du kWh/m².an pour les besoins en énergie d'un bâtiment, le résultat n'est pas uniforme dans sa comparaison. Car chaque label a des critères différents.

Mais la finalité est la même, réduire les émissions de $CO_2$ et les besoins en énergie et particulièrement le chauffage.

Le tableau ci-dessous permet de mieux comprendre ce qu'ils englobent.

| LABELS | MINERGIE (Suisse) | EFFINERGIE (France) | PASSIVHAUS (Allemagne) | |
|---|---|---|---|---|
| Surface de référence énergétique [m²] | SRE (surface de référence énergétique) | SHON (surface hors d'œuvre nette) | SHAB (surface habitable) | |
| Énergie considérée | Primaire | Primaire | Primaire (sauf pour le besoin en chauffage utile) | |
| Température de consigne [°C] | 20°C | 19°C | 20°C | |
| Niveau de performance énergétique [kWh/m².an] | ≤ 60 (Ep) | ≤ 80 (Ep) | ≤ 120 (énergie primaire) 1*<br>≤ 15 (énergie utile) 2* | |
| **Poste pris en compte** | | | 1 * | 2 * |
| Chauffage | X | X | X | X |
| Eau chaude sanitaire (ECS) | X | X | X | |
| Refroidissement | | X | X | |
| Éclairage | | X | X | |
| Auxiliaires (dont ventilation) | X | X | X | |
| Électroménager | | | X | |
| Prise en compte de l'altitude | oui | oui | oui | |
| Exigence de surchauffe estivale | | | < 10 % | |
| Ventilation mécanique double flux | | exigé | exigé | |
| Étanchéité à l'air | 1,5 vol/h (n50) | 0,8 m³/h.m² (I4)<br>+/- 2,4 vol/h (n50) | 0,6 vol/h (n50) | |
| **Valeur U parois [W/m².K]** | | | | |
| Toit | ≤ 0,20 | 0,10 à 0,15 | ≤ 0,15 | |
| Mur | ≤ 0,20 | 0,18 à 0,31 | ≤ 0,15 | |
| Sol | ≤ 0,20 | 0,20 à 0,41 | ≤ 0,15 | |
| Fenêtre | ≤ 1,00 | 0,70 à 1,70 | ≤ 0,15 | |

Comparatif entre les trois labels énergétiques les plus connus.

## Les classifications

On entend souvent les termes maison basse énergie, très basse énergie, ou basse consommation pour la France, passive, zéro énergie, ou même à énergie positive. Une série de termes qui prêtent à confusion ou qui se ressemblent pour la plupart des citoyens.

| Classification | Niveau de performance énergétique [kWh/m².an] | Équivalent mazout [l/m².an] | Gain d'énergie par rapport à une habitation sans isolation |
|---|---|---|---|
| **Basse énergie** | 60 à 30 | 6 à 3 | 3,5 à 7 fois |
| **Très basse énergie** | 30 à 15 | 3 à 1,5 | 7 à 13 fois |
| **Passif** | 15 à 0 | 1,5 à 0 | 13 fois |
| **Zéro énergie** | 0 | 0 | Présente un bilan nul en terme de consommation d'énergie |
| **Énergie positive** | < 0 (production d'énergie) | 0 | Présente un bilan positif en terme de production d'énergie |

énergie

amortissement

# L'économie d'une rénovation

surface

subvention

## Les coûts

L'économie énergétique que l'on peut espérer d'une rénovation dépend de plusieurs facteurs, notamment : la situation de départ du bien (pas ou peu isolée), l'objectif énergétique après rénovation (BE / TBE / ...), la bonne mise en œuvre de l'isolation et de l'étanchéité à l'air (théorie vs. chantier), la rénovation lourde ou légère de l'habitation, etc.

Il est certain qu'une maison bien finie à l'intérieur et à l'extérieur mais pas ou peu isolée présentera une mauvaise rentabilité financière par rapport à un projet où tout est à refaire et où la rénovation implique des changements d'espaces.

Toutefois, il s'agit de bien séparer les aspects financiers des économies d'énergie proprement dites. Le surcoût lié à une rénovation (surépaisseur d'isolation, étanchéité à l'air, ventilation double flux, menuiseries performantes, fenêtres...) est souvent comparé aux économies d'énergie liées à ces investissements supplémentaires. Le sur-investissement est jugé rentable à partir du moment où les économies réalisées dépassent effectivement le surcoût consenti à la rénovation. Lors de ces comparatifs on utilise des paramètres liés à des postulats de départ, comme la durée d'utilisation, le taux d'actualisation des économies réalisées, ou le coût de l'énergie futur. Au final, toute réponse sur la rentabilité n'est disponible qu'à posteriori.

Cette approche n'est pas vraiment l'approche à avoir lors d'un projet de rénovation énergétique, la question que l'on peut se poser est : ma maison doit elle être "rentable" ? Comment apprécier cette rentabilité ?

Un choix d'une cuisine hyper-équipée n'est certainement pas très souvent soumis à l'analyse de rentabilité mais plutôt à une intuition, une envie subjective du maître de l'ouvrage. Il en est de même pour le choix des salles de bains, et des finitions, etc. Ce peut être le cas pour le choix d'une voiture ou d'un terrain, ou même l'achat d'une maison pour laquelle on a eu un coup de cœur. On se demande comment un architecte ou un maître d'ouvrage peut encore faire le choix de rénover ou construire une habitation, dont la durée de vie sera de plus de 30 ans et qui consommera 5 à 10 fois plus que la meilleure technique de construction disponible sur le marché. Une aberration trop souvent constatée.

Dans son livre, "Maisons passives", Adeline Guerriat exprimait ce point de vue :

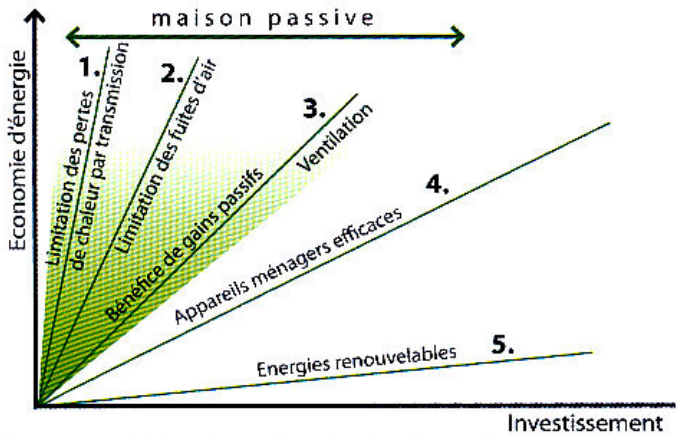
*"Les dépenses d'isolation ou de ventilation ne relèvent pas du même registre [que les choix "coup de cœur"]. Et c'est bien dommage. Pourtant, face à la dégradation alarmante de la planète, nos modes de consommation vont devoir évoluer rapidement. Le discours des architectes et des autres corps de métier devrait donc faire place à une vision nouvelle porteuse d'espoir. Celle-ci ne s'appuierait plus essentiellement sur les aspects économiques à court terme, mais sur les valeurs écologiques à plus long terme. Intégrer la notion du long terme écologique implique d'analyser le coût du bâtiment non plus seulement en termes de coût initial*

*(coût d'investissement), mais en termes de coût global, incluant les coûts d'investissement, mais aussi les coûts de fonctionnement au cours de la vie du bâtiment. Cette nouvelle façon de penser devrait permettre de donner de la valeur (dans l'échelle de valeurs du bâtisseur) à des dépenses mal comprises aujourd'hui ; le débat pourrait alors s'étendre aussi à un plan plus émotionnel : celui du plaisir, de la satisfaction, voire de la fierté d'utiliser les ressources non renouvelables de la planète (énergie, matériaux) de la manière la plus équitable qui soit, et de poser ainsi un acte citoyen en direction du développement durable."*

## L'amortissement sur les économies d'énergie

Chaque mesure d'économie d'énergie a un coût et une efficacité à réduire le besoin en énergie du bâtiment. Il en ressort des priorités et des étapes par lesquelles il est conseillé de passer pour obtenir un résultat final probant.

La figure ci-dessous compare le niveau de l'investissement et les économies d'énergie obtenues par différentes mesures prises lors de la rénovation d'un bâtiment.
D'après ce graphique on peut également conclure que le confort intérieur va dans le même sens, les premières mesures d'économies d'énergie sont celles qui améliorent considérablement le confort intérieur des habitants. Les mesures extrêmement rentables nécessitent un investissement minimum pour un gain d'énergie maximum.



**Économies d'énergie en fonction de l'investissement.**

Plus on isole un bâtiment, plus cela coûte en matériaux et en main d'œuvre. Inversement plus un bâtiment est isolé moins il consomme d'énergie pour le chauffer. Arrivé à un seuil de 30 kWh/m².an le système de chauffage traditionnel, et donc son coût forfaitaire, peut être réduit pour faire place à des appoints divers et une quasi uniformité des températures dans l'ensemble de l'habitation. Cette économie sur le poste d'investissement en chauffage, d'autant plus grande que l'on tendra vers le concept de maison passive (15 kWh/m².an), pourra être réinvestie dans la performance des parois, l'étanchéité à l'air, et la ventilation contrôlée.

Rappelons toutefois la série de bénéfices non chiffrables qui accompagne une rénovation basse énergie :

- le confort intérieur et la sensation de température plus agréable toute l'année. Plus de parois froides ni de courant d'air.
- la plus-value du bien sur le marché de l'immobilier (valeur vénale), surtout à l'heure de la certification des bâtiments (certification énergétique – réglementation européenne). Lors de la revente ou de la location de ce dernier le vendeur pourrez justifier un prix supérieur dû à la diminution importante des charges de chauffage.

**Simulation d'économies liées aux différentes étapes d'une rénovation performante**

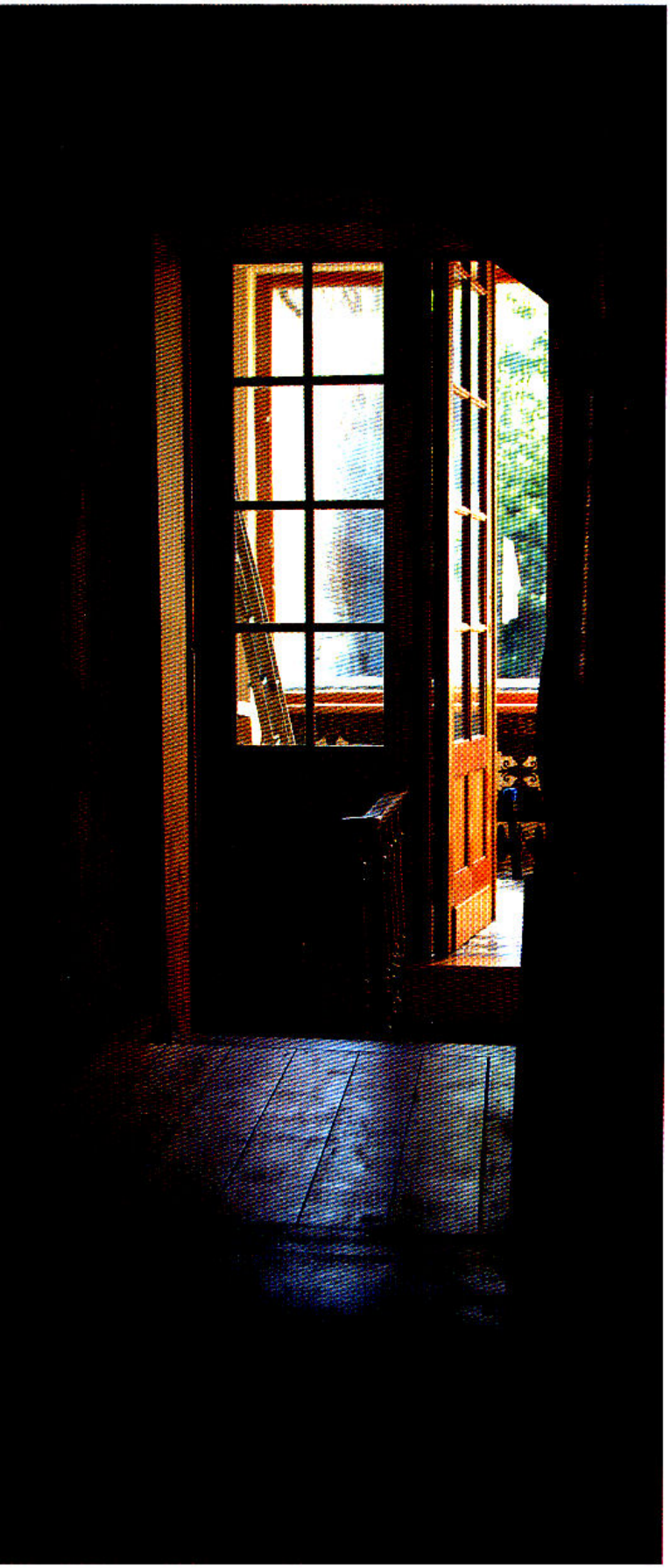
| | v0 | v1 | v2 | v3 | v4 | v5 | v6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Besoins net en chauffage (kWh/m². an) | 455,5 | 134,7 | 124,6 | 85,2 | 41,3 | 32,4 | 14,1 |
| Cœfficient de compacité (-) | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,37 | 1,37 |
| Valeur U moyen (W/m².K) | 2,51 | 0,59 | 0,51 | 0,51 | 0,25 | 0,18 | 0,18 |
| Niveau K (-) | 223 | 52 | 45 | 45 | 22 | 16 | 16 |
| Bilan apports-déperditions solaires des surfaces vitrées (kWh/an) | -2777 | -2777 | -1376 | -1376 | -1376 | -86 | -86 |
| Taux d'étanchéité à l'air (vol/h) | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 0,6 |
| Ventilation | naturelle | naturelle | naturelle | système C | système C | système C | système D |
| Surchauffe estivale (%) | 0 | 3 | 3 | 9 | 41 | 45 | 51 |
| Puissance de chauffage (kW) | 31 | 12 | 12 | 7 | 4 | 4 | 2 |
| **Consommation équivalente de mazout L/an pour une température de 19°C dans toute l'habitation** | **8124** | **2402** | **2221** | **1519** | **736** | **578** | **252** |

Ce bâtiment présente les caractéristiques suivantes avant rénovation (version 0 (V0) dans le tableau ci dessus) :

- une orientation N/E/S
- un cœfficient de compacité : 1,37
- une surface habitable nette de 145 m²
- un niveau K de 223 (soit un Umoyen de parois de 2,51 W/m².K)
- d'anciens châssis simple vitrage (>20 ans)
- une mauvaise étanchéité à l'air, soit n50 = 8 vol/h
- pas de système de ventilation contrôlé
- 87% des déperditions liées aux parois (murs / sol / toiture / menuiseries) dont 90% pour les parois et 10% pour les menuiseries
- 13% des déperditions liées à la mauvaise étanchéité à l'air
- soit 455 kWh/m².an (+/- 45,5 L mazout/m².an) pour un confort de température de 19°C dans toute l'habitation

Les étapes présentées dans le tableau ci-dessus sont les étapes chronologiques pour atteindre les performances d'une rénovation très basse énergie :

- **v1** : isolation des parois (murs / sols / toiture) à la norme d'aujourd'hui Umax en Région Wallonne
- **v2** : remplacement des anciens châssis par des châssis double vitrage Ug=1,1 W/m².K
- **v3** : amélioration de l'étanchéité à l'air (niveau moyen) à 3 vol/h + placement d'une ventilation mécanique type C (extraction seule)
- **v4** : renforcement de l'isolation des parois (murs / sols / toiture) au standard maison passive (Uparois < 0,13 W/m².K)
- **v5** : placement de menuiseries triple vitrage avec dormants isolés (Uw < 0,8 W/m².K)
- **v6** : haut niveau d'étanchéité à l'air (critère maison passive n50 < 0,6 vol/h) + placement d'une ventilation double flux type D avec échangeur thermique rendement de 88%.



## Les aides possibles

Les gouvernements nationaux et régionaux sont de plus en plus sensibles à la problématique énergétique des bâtiments en rénovation.

**En Belgique**

On retrouve des primes énergies régionales pour la rénovation. Exemple : analyse thermique (audit) du bâtiment ; isolation des murs / sols / toitures / châssis ; amélioration du système de chauffage ; installation d'un système de ventilation avec récupération d'énergie ; utilisation d'énergie solaire ou renouvelable, protection solaire, test d'infiltrométrie.

Sont également disponibles des réductions fiscales liées à des investissements d'économies d'énergie à hauteur de 40% du montant d'investissement plafonné à un montant fixé par année entre 2700 à 3600 €/an. Ce plafond s'apprécie sur une période de quatre années consécutives.

Certaines communes et provinces proposent également des compléments aux primes énergies régionales. Exemples : audit énergétique et solaire thermique.

Le prêt vert et l'éco-prêt sont disponibles pour le financement d'une série de dépenses bien déterminées pour réaliser des économies d'énergie (plus d'info : www.flw.be et ww.minfin.fgov.be).

**En France**

Le crédit d'impôt développement durable. Ce crédit d'impôt est possible pour un certain nombre d'investissement économiseur d'énergie mais avec des taux différents selon l'application. Exemple : remplacement de chaudière, matériaux d'isolation, remplacement de châssis, régulation thermique, etc.

Il existe aussi des aides régionales ou communales et le prêt éco a un taux d'intérêt à 0% jusqu'à 30 000 €.

Vous pouvez aller sur le site de L'ADEME ou dans les points info-énergie qui sont présents dans la plupart des agglomérations. (plus d'info : www. ademe.fr)

# Étude de cas

Pour aborder l'aspect du coût d'une rénovation, nous avons choisi l'exemple de la rénovation d'une maison mitoyenne de ville. Cette rénovation par étapes, d'une maison non isolée s'est effectuée pour aboutir au standard passif.

Les maisons de ville offrent en effet de réelles opportunités en matière de rénovation énergétique, grâce à leur compacité et leur mitoyenneté.

Ce projet a été primé dans le cadre des appels à projets "Bâtiments exemplaires 2008" organisé par la région Bruxelles-Capitale.

L'objectif du projet est d'atteindre le critère passif tout en continuant à habiter le bâtiment. Un exercice qui exige réflexion et stratégie.

Le bâtiment de départ présente deux appartements et sera rénové de manière à ne plus former qu'une seule habitation unifamiliale.

## Informations techniques du projet

Surface habitable : 164 m²
Budget des travaux (HTVA ) :

- phase 1 : 61 900 €
- phase 2 : 19 300 €
- phase 3 : 10 600 €

Primes perçues : 36 000 €
Réduction d'impôts : 2560 € + 10 fois 790 € (10 ans)
Retour sur investissement sans primes : 14 ans
Retour sur investissement avec aides et primes : 11 ans

**Isolation des parois**

- toiture plate : 23 cm (U = 0.213 W/m².K)
- toiture à versant : 39 cm (U = 0.131 W/m².K)
- sol sur terre-plein : 18 cm (U = 0.149 W/m².K)
- sol sur cave : 21 cm (U = 0.205 W/m².K)
- façade arrière : 16 cm (U = 0.245 W/m².K)
- façade avant : 12 cm (U = 0.312 W/m².K)

Etanchéité à l'air : 0,6 vol/h (n50) – hypothèse (test à réaliser en fin de phase 3)
Châssis triple vitrage (Uw = 0,8 W/m².K)

## Phasage des travaux

L'étude du financement du projet a induit un phasage des travaux en trois étapes. L'étalement des travaux permettra également de s'organiser pour continuer à habiter la maison pendant la durée du chantier, pour éviter le double loyer.

Suite à l'étude énergétique faite par le bureau d'étude (EcoRce) au moyen du logiciel PHPP, le bilan détaillé des surfaces de déperdition a montré que les plus grandes pertes de chaleur se font par la toiture (57%), les murs extérieurs des façades, les sols et les châssis.

Cette étude permet de définir des étapes pour parvenir au critère passif :

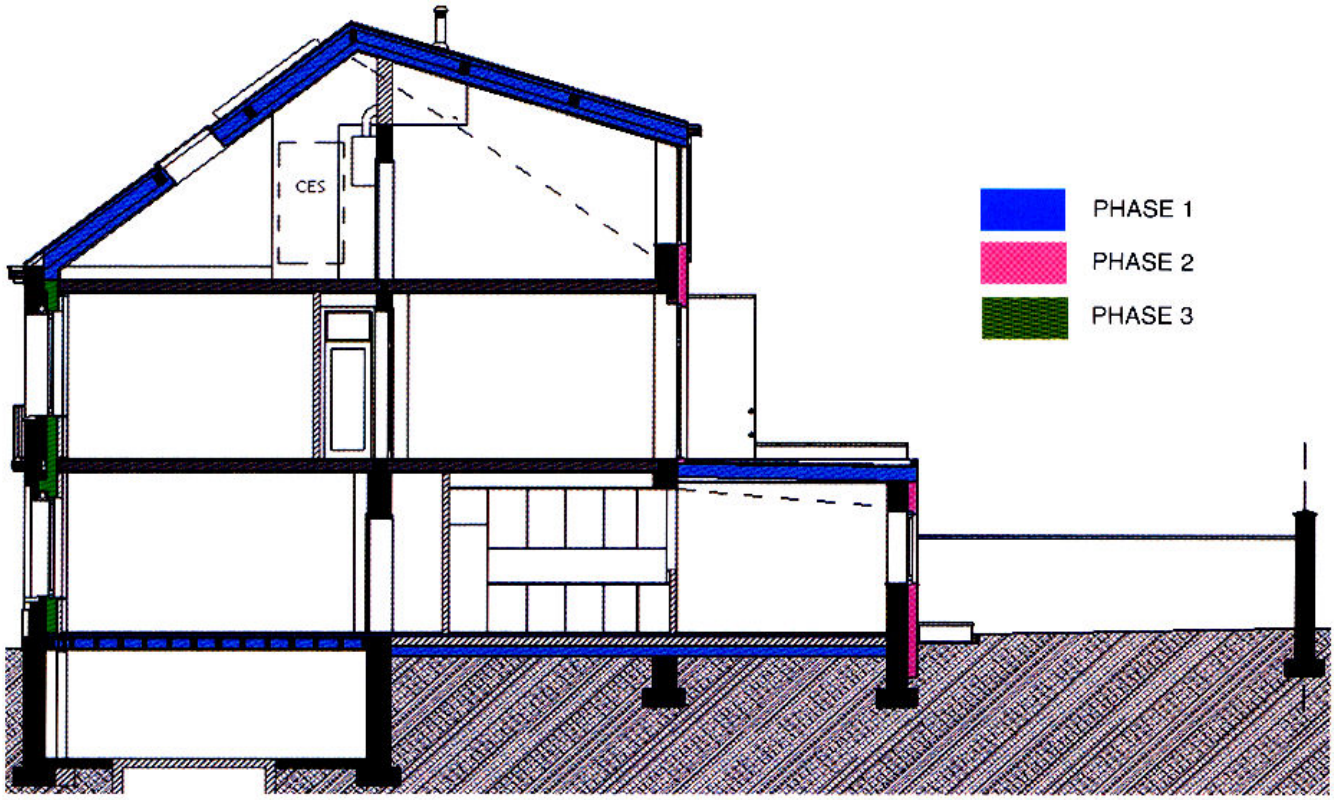
- **étape 1** : isolation du toit et du sol permettant d'atteindre la performance de 57 kWh/m².an
- **étape 2** : isolation de la façade arrière par l'extérieur et placement de châssis triple vitrage permettant d'atteindre la performance de 28 kWh/m².an
- **étape 3** : isolation de la façade avant par l'intérieur et placement de châssis triple vitrage permettant d'atteindre la performance de 15 kWh/m².an

Pour rappel, les maisons mitoyennes très compactes, impliquent que les façades prennent une part moins importante dans le bilan des déperditions du bâtiment par rapport à une maison quatre façades. L'épaisseur d'isolation est donc moindre, à savoir 16 cm et 12 cm, au lieu de 30 cm à 40 cm pour une maison quatre façades.

La première phase des travaux rassemblera les interventions les plus lourdes : renforcement de la charpente dû à l'augmentation de l'isolation et isolation de la dalle de sol qui implique la démolition complète du dallage existant.

La deuxième phase consistera à isoler la façade coté jardin par l'extérieur au moyen de panneaux de particules de bois fixés sur la maçonnerie existante et recouverts d'un enduit de finition.

La troisième phase portera sur l'isolation côté rue de la façade par l'intérieur. Cette option facilitera également le raccord avec le plancher du rez-de-chaussée et la toiture.




**Réduction des coûts énergétiques suite au phasage des travaux de rénovation**
**(sur la base du prix du gaz à 0,05 € par kWh pour l'amortissement des investissements)**

| | Sol | Toit à versants | Toit plat | Façades | Châssis | Murs vers voisins | Autres parois | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Situation de départ 375kWh/m².an** | | | | | | | | |
| Répartition des déperditions | 10% | 57% | 1% | 14% | 11% | 6% | 1% | 100% |
| Coût annuel en chauffage | 307 € | 1751 € | 31 € | 430 € | 338 € | 184 € | 31 € | 3072 € |
| **Phase 1 57 kWh/m².an** | | | | | | | | |
| Répartition des déperditions | 2% | 5% | 2% | 50% | 37% | 2% | 2% | 100% |
| Coût annuel en chauffage | 9€ | 23€ | 9€ | 233€ | 173€ | 9€ | 9€ | 467€ |
| Réduction | -97% | -99€ | -70% | -46% | -49% | -95% | -70% | -85% |
| Économie annuelle | 298 € | 1727 € | 21 € | 197 € | 165 € | 175 € | 21€ | 2605 € |
| **Phase 2 28 kWh/m².an** | | | | | | | | |
| Répartition des déperditions | 4% | 7% | 4% | 41% | 40% | 4% | 0% | 100% |
| Coût annuel en chauffage | 9€ | 16€ | 9€ | 94€ | 92€ | 9€ | 0€ | 229€ |
| Réduction | -97% | -99% | -70% | -78% | -73% | -95% | -100% | -93% |
| Économie annuelle | 298 € | 1735 € | 22 € | 336 € | 246 € | 175 € | 31 € | 2842 € |
| **Phase 3 15 kWh/m².an** | | | | | | | | |
| Répartition des déperditions | 9% | 14% | 7% | 26% | 37% | 7% | 0% | 100% |
| Coût annuel en chauffage | 11€ | 17€ | 9€ | 32€ | 45€ | 9€ | 0€ | 123€ |
| Réduction | -96% | -99% | -72% | -93% | -87% | -95% | -100% | -96% |
| Économie annuelle | 296 € | 1734 € | 22 € | 398 € | 292 € | 176 € | 31 € | 2949 € |

## Financement du projet

Via une reprise d'encours sur un crédit hypothécaire contracté avec la banque, il a été possible de réutiliser le capital déjà remboursé. La charge mensuelle liée à l'emprunt ne change pas (le crédit est prolongé de plusieurs années) et les économies de chauffage après travaux seront donc tout bénéfice. Un budget de départ de 50 000 € aura été dégagé pour démarrer les travaux.
Le recours aux aides publiques disponibles est le second levier à actionner. A Bruxelles, une prime de 100 €/m² de plancher net chauffé est octroyée pour une rénovation basse énergie (< 60 kWh/m².an). Ceci constitue l'objectif à atteindre pour la première étape du projet avec, à la clé, 16 000 € pour passer à la phase suivante.

La deuxième étape est l'objectif fixé par l'appel à projets "Bâtiments exemplaires 2008" pour une rénovation "très basse énergie" (< 30 kWh/m².an). Grâce à cet appel, ce projet a pu bénéficier après travaux d'une prime supplémentaire de 100 €/m² de plancher brut

Cette prime de 18 000 € permettra d'embrayer directement sur la troisième étape, le standard passif (< 15 kWh/m².an). En Belgique, l'obtention du certificat maison passive permet d'obtenir une déduction fiscale de 790 €/an pendant dix ans, soit 7900 € à ajouter aux deux autres aides publiques.

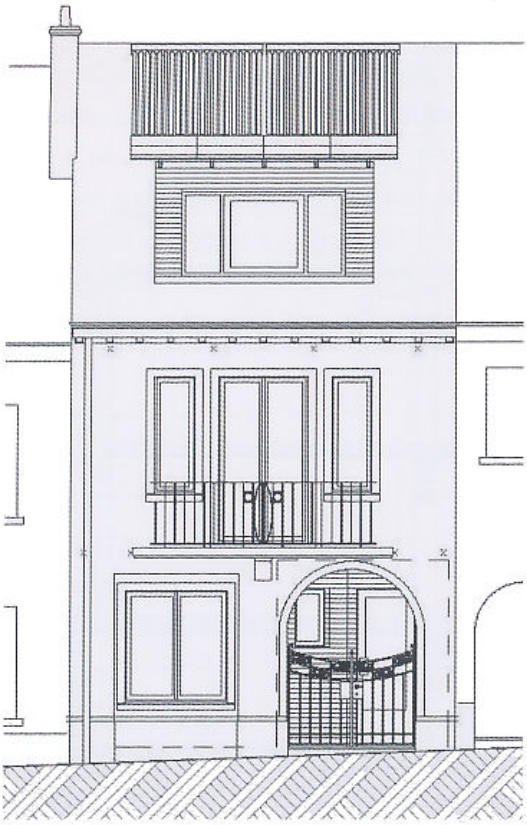
## Rentabilité des travaux d'isolation

Bien que les maîtres d'ouvrage soient sensibilisés aux aspects énergétiques et écologiques, l'analyse de rentabilité des investissements d'isolation a été calculée en tenant compte d'une augmentation du coût de l'énergie de 4%/an. Le temps de retour estimé est de 14 années sans aides publiques et 11 années en comptabilisant les primes et les déductions fiscales.

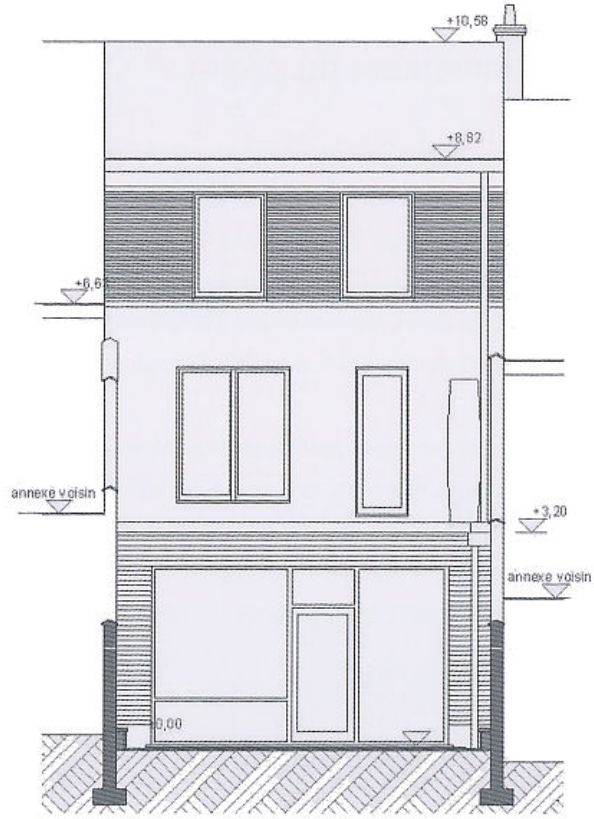
Bien que l'opération soit rentable à terme, un capital de départ est nécessaire et les aides publiques restent un levier indispensable.

L'exemple de ce projet montre que la rénovation jusqu'au standard passif de nos maisons anciennes est techniquement et financièrement réalisable. L'application des principes de la maison passive à la rénovation, même sans arriver jusqu'au standard, constitue une formidable source d'économies d'énergie et donc un énorme potentiel de réduction d'émissions de $CO_2$. Sans compter l'augmentation de confort pour les occupants.

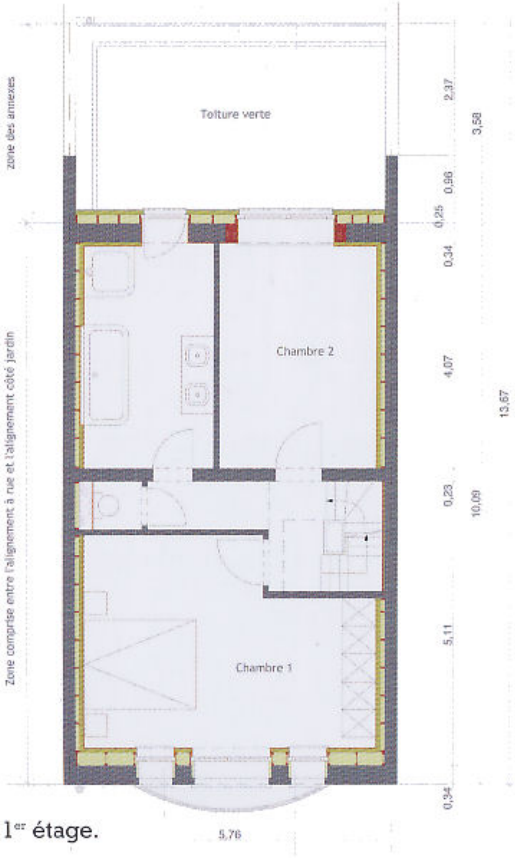
Façade avant de l'étude de cas.



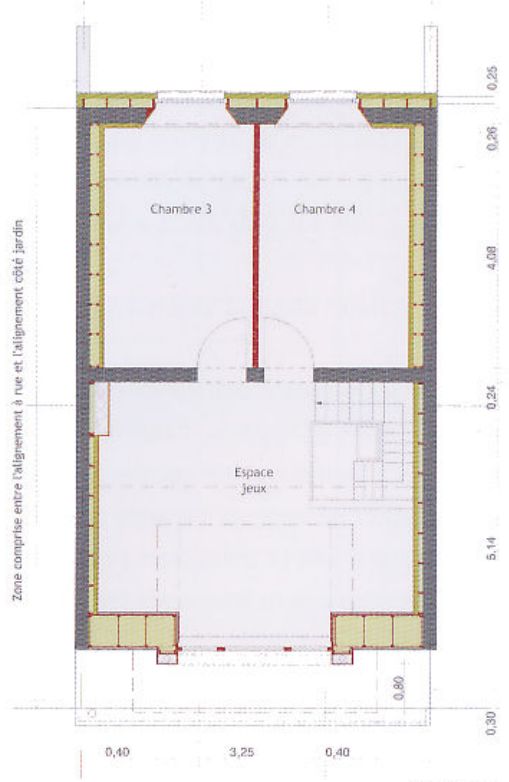
Façade à rue au sud ouest.




Façade arrière côté jardin au nord est.




1er étage.




2e étage.

Coût par poste des 3 phases de travaux

| Travaux | Surfaces en m² | Prix total estimé (TTC) | Prix/m²( TTC) |
|---|---|---|---|
| **Phase 1 : RDC - toiture 57 kWh/m².an** | | | |
| **Rez-de-chaussée** | | | |
| Isolation du toit plat | 19,83 | 4716,16 € | 237,87 € |
| Isolation du sol sur terre plein | 42,15 | 9374,79 € | 222,41 € |
| Isolation du mur vers voisin | 11,16 | 719,46 € | 64,47 € |
| Isolation plancher sur cave | 27,59 | 3477,26 € | 126,03 € |
| Isolation cage d'escalier vers cave | | 128,21 € | |
| Isolation mur porche d'entrée | 5,96 | 1208,12 € | 202,70 € |
| Isolation plancher porche | 2,07 | 111,61 € | 53,92 € |
| Porte | | 2623,50 € | |
| Châssis | 0,53 | 339,89 € | 641,30 € |
| **Total 1A** | | **22699,70 €** | |
| Coûts annexes | | 11099,00 | |
| **1B Toiture à versant** | | | |
| Isolation toit à versant | 67,66 | 13804,95 € | 203,97 € |
| Isolation mur vers voisins | 52,26 | 3369,10 € | 64,47 € |
| Châssis et stores | 2,29 | 2136,11 € | 932,80 € |
| **Total 1B** | | **30408,00 €** | |
| **VMC** | | | |
| Installation VMC | | 8797,73 € | |
| **Total Phase 1** | | **61 904 €** | |
| **Phase 2 : façade - jardin 28 kWh/m².an** | | | |
| Isolation façade jardin | 33,75 | 7447,83 € | 220,68 € |
| Châssis | 16,81 | 10780,25 € | 641,30 € |
| Stores | 3,88 | 1131,02 € | 291,50 € |
| **Total phase 2** | | **19359,10 €** | |
| **Phase 3 : façade à rue 28 kWh/m².an** | | | |
| Isolation de la façade rue | 41,91 | 2516,16 € | 60,04 € |
| Châssis plus stores | 8,66 | 8078,05 € | 932,80 € |
| **Total phase 3** | | **10594,21 €** | |
| Test Blower Door | | 500,00 € | |
| Honoraire bureau d'étude | | 2000,00 € | |
| **Investissement total** | | **94359,90** | |
| Total net avec prime basse énergie | | 78668,90 € | |
| Total net avec concours bâtiments exemplaires | | 57585,90 € | |

ventilation

AIR

ISOLER

# Atteindre le standard basse énergie

ponts thermiques confort étanchéité

## Introduction

Après avoir réalisé les bilans nécessaires et fixé les objectifs en terme énergétique, la rénovation peut commencer. L'objectif final du maître d'ouvrage sera de réduire les besoins de chauffage par un travail sur :

- l'orientation et la compacité, avec peu de marge de manœuvre en rénovation
- l'isolation de l'enveloppe
- la suppression d'un maximum de ponts thermiques
- la mise en œuvre d'une bonne étanchéité à l'air du bâtiment
- la ventilation efficace

Sur la base de la qualité et du contrôle de la mise en œuvre de ces éléments, le maître d'ouvrage complètera utilement ou non ces mesures par :

- un chauffage performant et bien dimensionné

Tout au long de cette démarche, le maître d'ouvrage devra avoir le souci de :

- la qualité de l'air notamment influencée par le choix des matériaux et le système de ventilation
- le confort thermique notamment influencé par la température des parois et l'effusivité des revêtements intérieurs
- le bien-être et le confort d'habitation souhaité

Enfin, il faut tenir compte de certains préalables à la rénovation énergétique d'un bâtiment. Outre l'ensemble des questions à se poser, le maître d'ouvrage veillera à commencer par résoudre les questions de stabilité et les problèmes d'humidité.

## Se fixer un objectif énergétique

Avant tout, il y a lieu de connaître son habitation avant de s'attaquer à son amélioration. Connaître les défauts et erreurs de conception, la consommation de chauffage, les zones d'inconfort intérieur, etc.

Faites-vous aider dans cette étape soit par un conseiller énergie ou un auditeur. Le but étant de pouvoir définir les priorités d'action et les pistes pour d'éventuels travaux.

De plus, **il faut se fixer SON objectif énergétique** personnel et acceptable après rénovation. Les possibilités sont vastes et multiples.

## Tirer profit du solaire passif

Pour tirer profit au maximum des apports solaires, il faut agir au moment de la conception des plans de rénovation et de l'aménagement des espaces. Il y a lieu de garder à l'esprit que les pièces de vie sont à placer au sud et que les pièces de rangement et chambres sont à placer au nord.

En rénovation, les possibilités sont évidemment fort réduites du fait de l'implantation et de l'état existant du bâtiment. Même si l'on ne peut y remédier totalement, il faut au moins y songer.

## Garder ou améliorer la compacité du bâtiment

Lors de la conception des plans de rénovation, si le volume extérieur du bâtiment est modifié, il faut favoriser au maximum un volume fini le plus compact possible et éviter la multiplication d'annexes les unes à coté des autres.

## Isolation

Les principales déperditions thermiques sont dues aux parois de l'enveloppe. Les murs, les sols, les toitures, les châssis et les portes sont à prendre en considération. D'une manière générale, l'efficacité de l'isolation sera dépendante de :

- son épaisseur
- son étanchéité à l'air
- sa continuité (suppression des ponts thermiques)

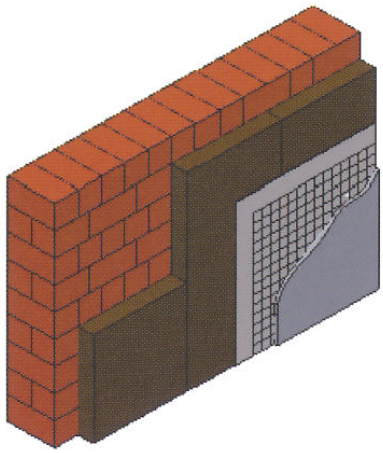
La qualité de la mise en œuvre de ces éléments par les entrepreneurs ou le maître d'ouvrage est donc de première importance dans le résultat final.

### Isolation des murs extérieurs

L'isolation par l'extérieur de l'enveloppe aura l'avantage d'augmenter l'inertie thermique tout en supprimant les ponts thermiques.

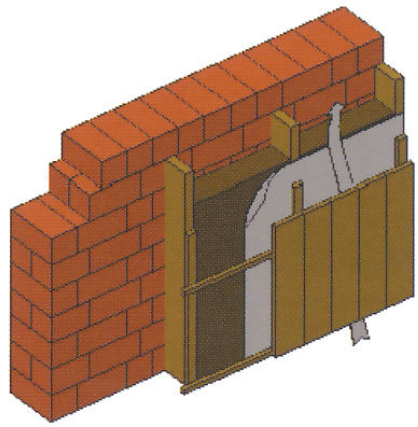
#### Isolation par l'extérieur avec enduit

Ce système d'isolation s'adapte bien sur les façades enduites ou sur les murs de briques. Des plaques isolantes sont collées et/ou vissées à la façade et recouvertes d'une double couche d'enduit.



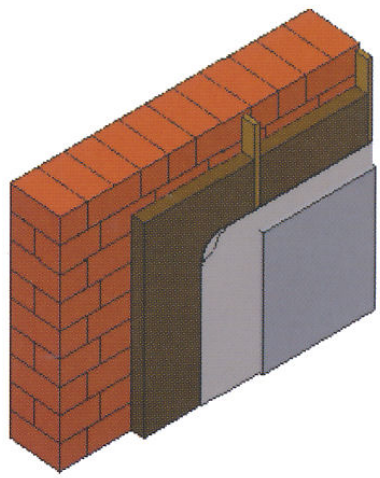
#### Isolation par caisson suspendu à l'extérieur des murs

Ce système d'isolation est privilégié lorsque les façades sont soumises à l'épreuve du soleil, de la pluie et du vent. Elles permettent des finitions très variées : crépi, bardage bois, bardage métallique, etc. L'isolation est placée entre les montants et protégée du vent et des intempéries.



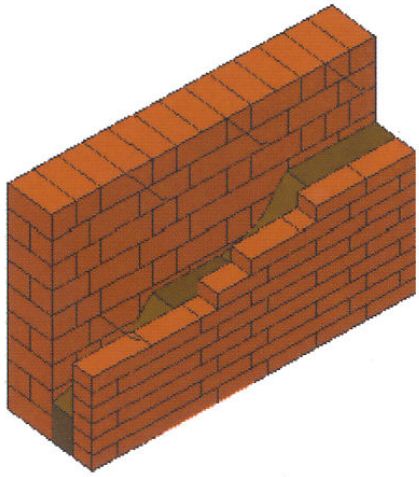
#### Isolation par l'intérieur

Ce système d'isolation est utilisé lorsque l'isolation par l'extérieur n'est techniquement pas possible ou non autorisée par l'urbanisme. Le choix de l'isolant et les possibilités de mise en œuvre sont multiples. L'usage d'un pare vapeur ou d'un frein vapeur peut être nécessaire.



### Isolation dans la coulisse

Ce système d'isolation s'applique aux maisons à doubles murs. Un isolant est soufflé dans la coulisse. Même si la qualité de la mise en œuvre n'est pas aisée à contrôler, le système peut être efficace si la maçonnerie est étanche à la pluie et ouverte à la diffusion de vapeur.



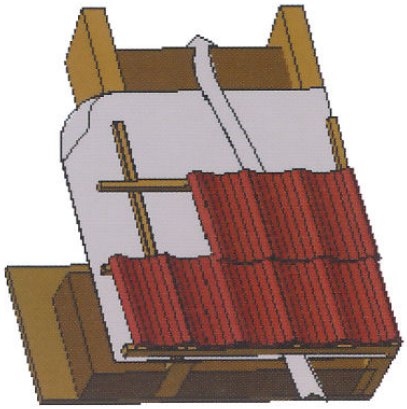
## Isolation de la toiture

Pour que l'isolation de la toiture soit efficace, la rénovation portera sur l'ensemble du complexe, à savoir la sous-toiture, l'isolation proprement dite, et le frein vapeur.

La sous toiture protègera l'isolant de l'eau et du vent complémentairement à la couverture. Le frein vapeur protègera l'isolation de la vapeur d'eau en limitant les effets de condensation au travers de l'isolant. Il sera posé de manière à être étanche à l'air.

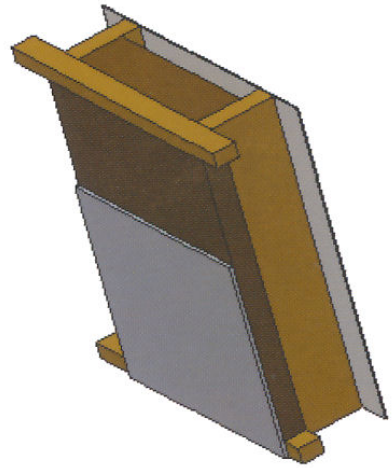
### Isolation entre chevrons

Elle est réalisée par l'intérieur ou par l'extérieur, selon la nécessité de réfection de la couverture. Les choix des isolants sont multiples et les techniques de mise en œuvre aussi : soufflage, plaque semi-rigide, etc.



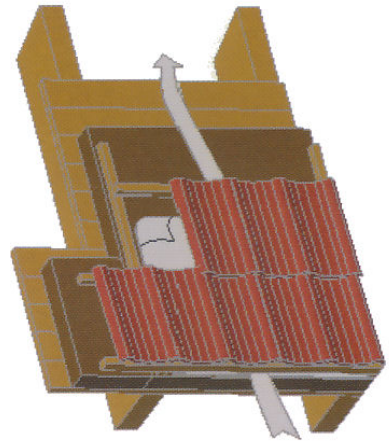
### Isolation sous les chevrons

Elle est réalisée lorsqu'il y a suffisamment de place avec l'avantage de présenter une meilleure continuité de l'isolant. Elle peut être complémentaire à l'isolation entre chevrons.



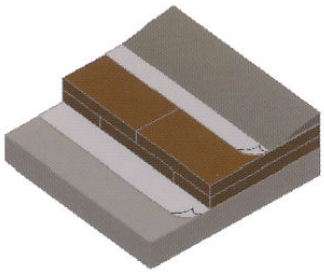
### Isolation sur chevrons

Elle est aussi complémentaire à l'isolation entre chevrons mais n'est possible que lorsque la sous-toiture et la couverture sont démontées. Elle présente l'avantage d'une continuité extérieure parfaite de l'isolant.



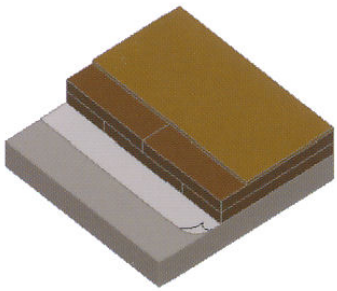
### Toiture plate

La rénovation d'une toiture plate peut aussi être l'occasion de renforcer son isolation. Etant donné que l'isolant ne sera pas ventilé, il devra être protégé du vent et des intempéries à l'extérieur par une couche d'étanchéité parfaite et protégé par l'intérieur de la vapeur d'eau.



## Isolation du plancher du grenier

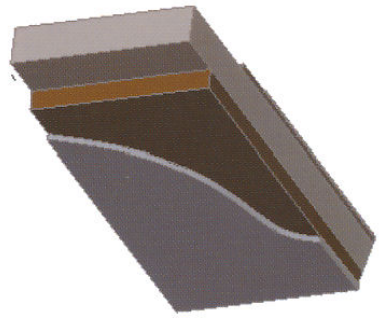
Cette technique peut avantageusement remplacer l'isolation de la toiture lorsque les combles ne sont pas occupés. Comme pour la toiture, l'isolant peut être posé sous le gîtage, entre gîtage et/ou sur le gîtage avec les mêmes avantages et inconvénients. La technique utilisée dépendra aussi de la fonction attribuée au grenier.



## Isolation des sols

### Isolation du plafond des caves

La meilleure technique consiste à isoler le plafond de la cave L'isolant sera alors continu sauf au droit des murs de refend et les sols, se trouvant dès lors du côté chaud, donneront de l'inertie thermique au bâtiment.



## Portes et fenêtres

Il existe aujourd'hui des châssis bien étanches équipés de vitrages très isolants. Les doubles vitrages performants atteignent ainsi des valeurs Uw de 1,5 W/m².K. à 1,0 W/m².K. Lorsque les châssis sont suffisamment stables et étanches, seul le vitrage peut être remplacé.

**Comparatif des niveaux d'isolation et des températures superficielles des divers vitrages**

| | Simple vitrage | Double vitrage | Double vitrage isolant, basse émissivité | Triple vitrage isolant, basse émissivité, de type passif |
|---|---|---|---|---|
| Valeur Ug du vitrage (W/m².K) | 5,8 W/m².K | 2,9 W/m².K | 1,1-1,3 W/m².K | 0,4-0,7 W/m².K |
| Température superficielle intérieur du vitrage par 0°C à l'extérieur | +6°C | +12°C | +17°C | +18°C |

Source : Oliva, IBGE, Carodec.

# Ponts thermiques

Les ponts thermiques correspondent à des ruptures dans la continuité de l'isolation de l'enveloppe des parties chauffées de la maison. Les ponts thermiques sont liés à la conception même de la maison mais peuvent aussi être le résultat d'une mise en œuvre peu attentive.

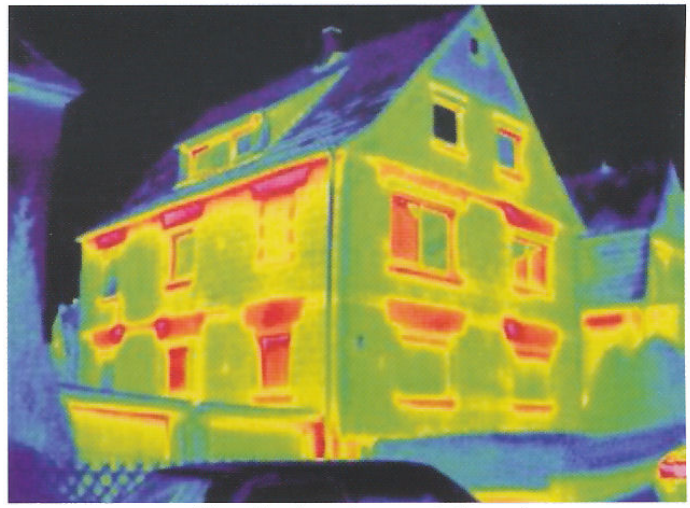
**Les points sensibles sont les suivants :**

- les raccords murs – planchers, en particulier en béton
- les raccords murs – toitures
- les murs d'angle
- les balcons, terrasses en béton
- les bords de fenêtre, de portes
- les caissons de volets, les réservations prévues pour les canalisations et les câbles
- les piliers ou poutrelles de stabilité en béton ou en métal
- les raccords murs-chassis

Les ponts thermiques constituent des zones importantes de déperditions thermiques. Ils sont mis en évidence par l'isolation de la maison et en constituent les points faibles. Paradoxalement, les ponts thermiques sont donc d'autant plus importants que la maison est bien isolée.

Ce sont aussi des lieux privilégiés de condensation de la vapeur d'eau présente dans l'habitat. Le refroidissement de l'air y est largement accéléré. L'air s'y décharge de la vapeur d'eau qu'il contient, ce qui accroît encore les déperditions. Le risque d'apparition de moisissures y est accru.

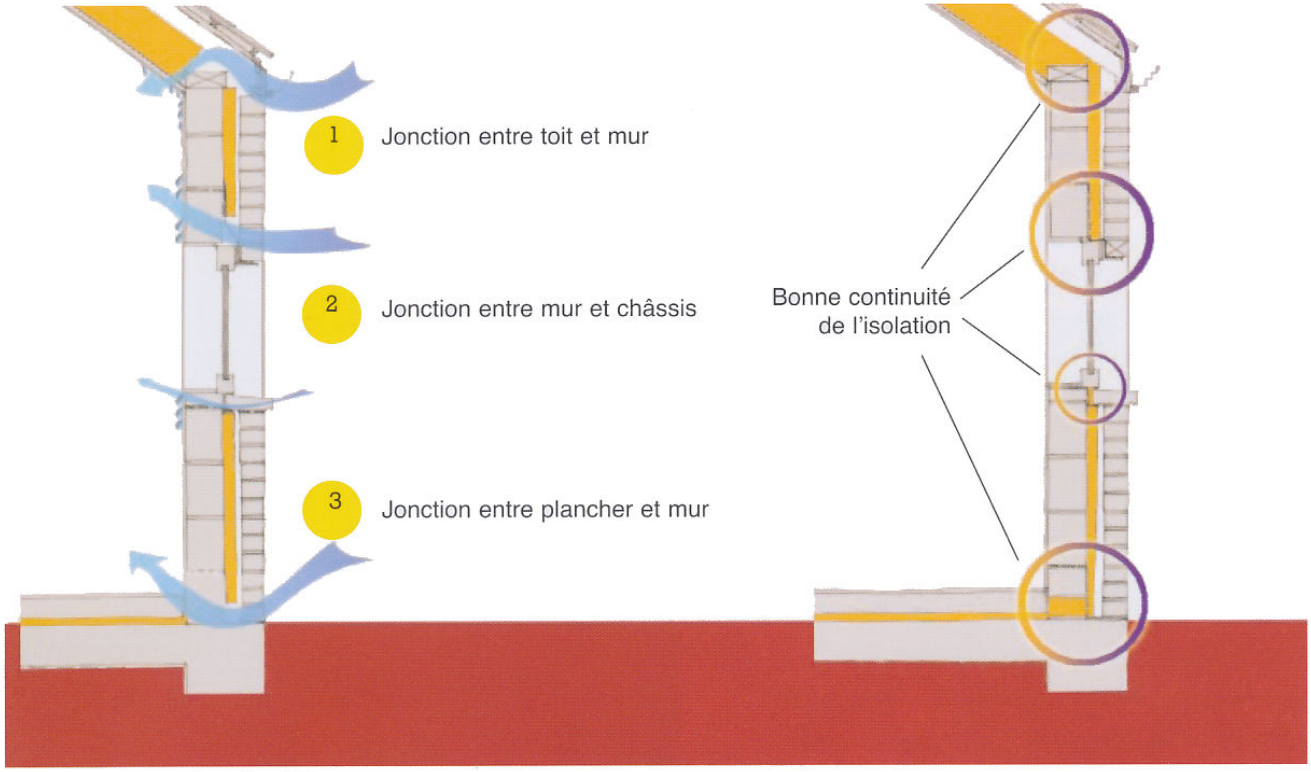
Isolation d'un pied de mur.



Visualisation des ponts thermiques en rouge sur la thermographie.

Isolation des plafonds de caves.

Schématisation des principaux ponts thermiques




source : www.energie.wallonie.be

Dans les rénovations, si l'isolation des parois est relativement aisée, elle est cependant souvent compliquée à planifier dans les détails et à suivre dans sa mise en œuvre. Car les entrepreneurs n'ont pas toujours conscience de la gravité des ponts thermiques. C'est pourtant, comme l'étanchéité à l'air, une condition d'efficacité des mesures d'isolation. Il faudra donc veiller à planifier les détails de mise en œuvre afin de vérifier l'absence ou la réduction forte des ponts thermiques.

Pour réduire les ponts thermiques au minimum, il est nécessaire :

- de poser l'isolant de manière continue au dormant des portes et fenêtres, sur les éléments à cœfficient de transmission thermiques très élevé, poutrelles en métal, pilier en béton
- d'emballer les terrasses ou balcons en béton d'isolant ou les désolidariser du bâti. C'est une opération difficile voire impossible. On peut alors envisager de démonter le balcon.
- de renforcer l'isolation dans les coins, sur les pourtours ou dormants des portes et fenêtres, sur les éléments à coefficient de transmission thermiques trop élevé ( poutrelles en métal, pilier en béton, etc.)

## Étanchéité à l'air

Une rénovation énergétique réussie passe aussi par une bonne étanchéité à l'air de la totalité de l'enveloppe du bâtiment. Ce facteur est souvent sous-estimé à côté d'une bonne isolation et de la suppression des ponts thermiques. L'étanchéité à l'air est d'ailleurs un critère de réussite d'une maison passive ou correctement isolée.

- elle permet de limiter les courants d'air et les pertes énergétiques par les "trous"
- elle permet de rendre l'isolation et la ventilation efficace
- elle s'obtient essentiellement par l'intérieur du bâtiment
- elle est compatible avec une perméabilité à la vapeur d'eau

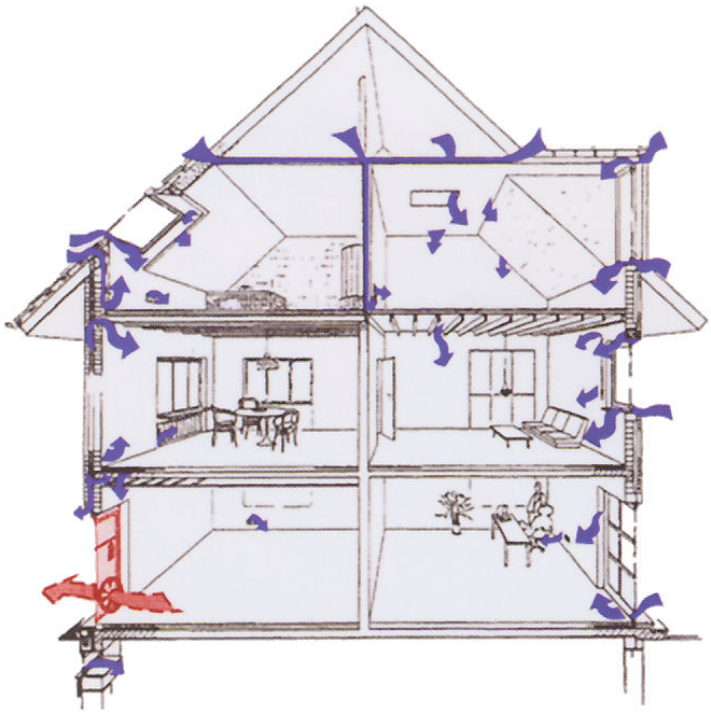
L'isolation sans étanchéité à l'air et au vent perd une bonne partie de son efficacité. La membrane d'étanchéité à l'air peut être un pare-vapeur si elle empêche le passage de la vapeur d'eau ou un freine-vapeur qui régule le passage de la vapeur d'eau vers la paroi.

L'étanchéité à l'air est fondamentale dans la planification des travaux. C'est une étape très technique qui nécessite des plans de détails des raccords soigneusement dessinés et réalisés. En particulier :

- les joints entre les dormants et les ouvrants des portes et les fenêtres
- les raccords entre les châssis et les murs
- les raccords entre la toiture avec les murs et les pignons
- le faîte du toit
- les angles de murs sortant et rentrant
- les caissons de volets
- les accès aux canalisations d'eau, d'électricité, de gaz, passage de gaine
- la hotte
- les raccords cheminée et toiture
- jonction dalle et murs
- les accès à la cave, au grenier et au garage

L'architecte veillera, par exemple, à faire poser une membrane frein vapeur sur les poutres avant chevronnage de la toiture ou sur le dessus des cloisons intérieures en contact avec le plancher du grenier ou encore aux prises électriques. Cette prévoyance fera gagner beaucoup de temps et améliorera significativement l'étanchéité finale du bâti.

La difficulté de mise en œuvre de l'étanchéité à l'air vient souvent de la nature différente des matériaux. Il existe sur le marché des produits adaptés permettant des raccords étanches à l'air (toile, enduit, etc.).



Étanchéité à l'air : zones à risque.

Détail d'étanchéité au vent et à la pluie.

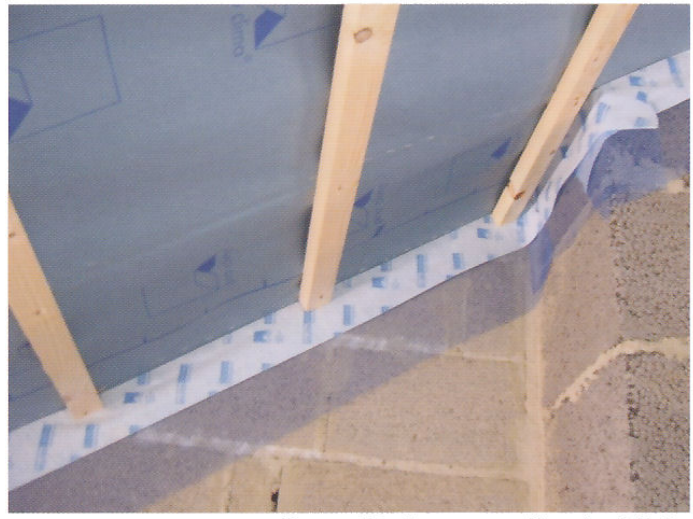
Raccord structure - enduit étanche à l'air. Dalle de sol - mur.

Étanchéité à l'air des gaines.

Raccord cloison - toiture étanche à l'air.

Raccord dalle de sol - mur étanche à l'air.

Raccord toiture - fenêtre de toit étanche à l'air.



Raccord toiture - mur étanche à l'air.

L'étanchéité générale du bâtiment peut être testée par "Blower–Door-Test", test d'infiltrométrie, afin d'identifier les points restant à améliorer. L'unité de mesure de cette étanchéité est le $m^3/h$ soit le nombre de $m^3$ d'air par heure brassé par le ventilateur à une pression de 50 Pascal. Pour une maison passive mise sous pression, le test doit montrer un résultat inférieur à 0,6 volume du bâtiment par heure (0,6 vol/h). Des subventions existent selon les régions ou départements pour couvrir les frais de tels tests de vérification.

Test blower door.

## Ventilation

L'isolation de l'enveloppe du bâtiment, l'étanchéité à l'air et la réduction des ponts thermiques accroît logiquement la nécessité d'une ventilation maîtrisée du bâtiment. Le renouvellement d'air dans les anciennes maisons se réalisait naturellement par les fuites (chassis, portes) et le feu ouvert. La rénovation profonde du bâtiment nécessite de réfléchir à l'apport d'air frais pour le confort et la qualité de l'air intérieur.

| Exemples de dégagement de vapeur d'eau | |
|---|---|
| | **Habitant : respiration** |
| Activité légère | 30-60 g/h |
| Activité lourde | 200-300 g/h |
| Bain | + /- 700 g/h |
| Douche | + /- 2600 g/h |
| Cuisine | 600-1500 g/h |

L'apport d'air frais par la ventilation est nécessaire pour

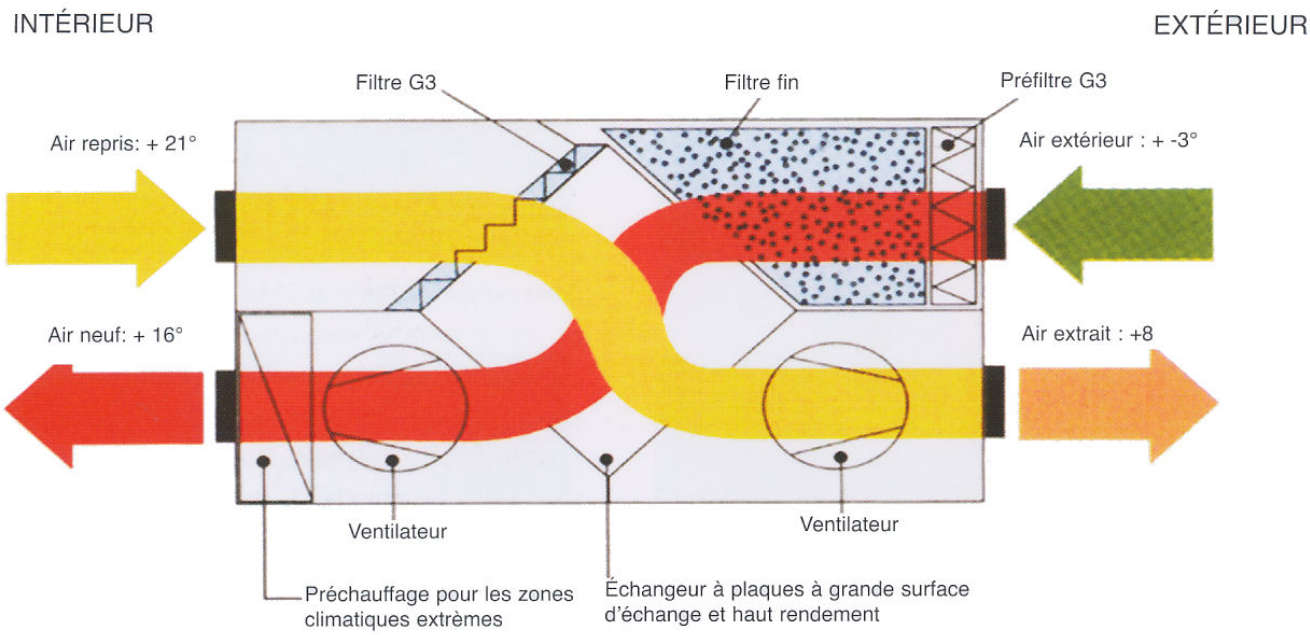
- évacuer l'humidité produite au sein de l'habitat par les êtres vivants, la cuisine, la salle de bain
- évacuer l'air vicié ($CO_2$) et apporter de l'oxygène
- évacuer les polluants éventuels de l'air (poussières, solvants, tabac, radons, COV, etc.)

Par habitant, avec une activité physique normale, la ventilation devra permettre d'amener 30 $m^3$/heure d'air extérieur, davantage encore selon les circonstances (bain, cuisine, WC). À titre d'exemple, pour une habitation de 300 $m^3$ occupée par 4 personnes, les besoins d'air extérieur peuvent être estimés à quelques 160 $m^3/h$. Le taux de renouvellement de l'air idéal sera dès lors de quelques 0,3 à 0,4 vol/h.

### Les différents systèmes de ventilation : avantages et inconvénients

| Système | Avantages | Inconvénients |
|---|---|---|
| Système A<br>Apport et évacuation d'air naturel | Aucun investissement supplémentaire<br>Simple à mettre en œuvre<br>Pas de frais d'exploitation | Débit non contrôlable<br>Qualité de l'air peu contrôlable et très dépendante du comportement des occupants<br>Énergie non récupérée |
| Système B<br>Apport d'air mécanique et évacuation naturelle (insufflation) | Filtration possible de l'air entrant en cas de pollutions extérieures<br>Débit maîtrisable | Encombrement dans les locaux secs<br>Énergie non récupérée |
| Système C<br>Apport d'air naturel et évacuation mécanique (extraction) | Système peu coûteux à l'exploitation<br>Débit d'évacuation contrôlable | Encombrement (limité aux pièces humides)<br>Énergie non récupérée |
| Système D<br>Apport d'air et évacuation mécanique ventilation double flux | Système très maîtrisable<br>Filtration et atténuation acoustique possible<br>Possibilité de récupération de chaleur<br>Économie d'énergie<br>*Contrôle de la qualité de l'air* | Coût d'installation<br>Encombrement, entretien et maintenance<br>Perte d'efficacité quand les fenêtres sont ouvertes |

### Schéma de principe de la VMC double flux avec récupération de chaleur

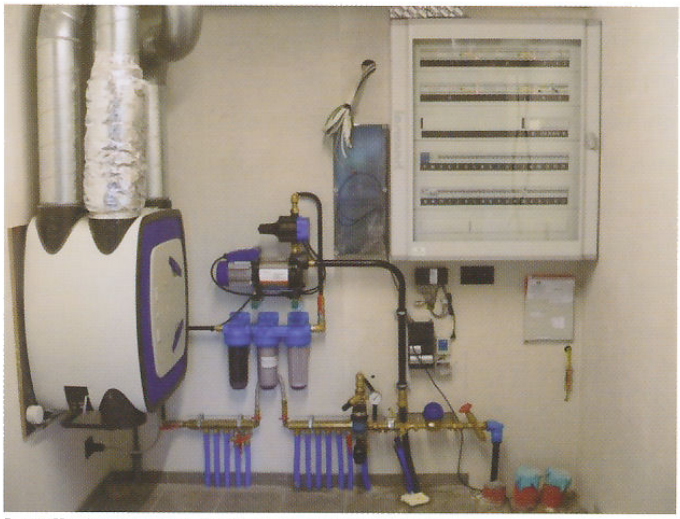


Seul le système D double flux avec récupération de chaleur apporte une réduction importante au niveau des besoins de chauffage et de la consommation en énergie primaire du bâtiment. Si le rendement de l'échangeur est bon, la ventilation double flux permet de :

- récupérer jusqu'à 90-95 % de la chaleur sur l'air extrait, ce qui garantit une économie d'énergie
- préchauffer l'air froid entrant, ce qui augmente la sensation de confort
- garantir les débits et la distribution de l'air
- filtrer l'air entrant
- isoler acoustiquement les locaux des bruits tant intérieurs qu'extérieurs

Une ventilation mécanique double flux est donc particulièrement intéressante et rentable si l'étanchéité à l'air est inférieure à 1,5 vol/h et qu'une bonne isolation du bâtiment est présente.

L'installation et l'entretien d'une ventilation mécanique contrôlée avec récupération de chaleur sont des éléments techniques de la rénovation auxquels le maître d'ouvrage devra s'intéresser pour en garder une certaine maîtrise. La check liste suivante permettra de réaliser cette installation dans les meilleures conditions.



Installation de la VMC dans la buanderie.

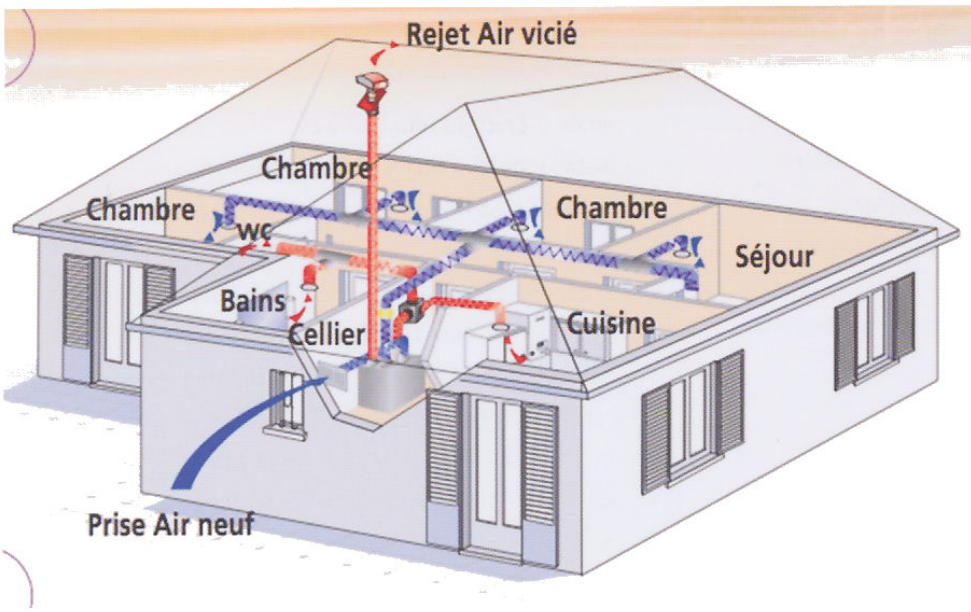
## UNE INSTALLATION DOUBLE FLUX IDEALE CE QU'IL FAUT FAIRE

- le dimensionnement, la planification et le débit potentiel de l'installation
- la possibilité pour le maître d'ouvrage de comprendre et de régler l'installation
- la compatibilité de l'installation avec le chauffage (surchauffe, concurrence de tirage, séparation de l'air sortant de la chaudière et de l'air entrant dans la ventilation )
- le contrôle sanitaire (condensation dans l'installation, existence d'un by-pass, contrôle visuel de l'arrivée d'air)
- la VMC ne doit pas occasionner ou véhiculer de bruit ou de vibrations, ni de surpression et/ou soulever des poussières
- la vérification de la qualité de l'air extérieur (industrie proche, circulation routière proche et intense)
- en cas de préchauffage par puits canadien aéraulique, la nécessité d'évacuation des condensats
- montage de l'installation par une société spécialisée (filtres et raccords étanches)
- l'installation doit pouvoir être entretenue et contrôlée. Son efficacité doit être mesurable (volume d'air théorique et réel)

Entretien régulier : remplacement des filtres (1-3-6 mois)
Nettoyage de l'échangeur (12 mois)
Inspection hygiénique et sanitaire

- la consommation électrique minimum des ventilateurs (le rendement doit être inférieur 0,45 Wh/$m^3$)
- prévoir l'encombrement du groupe de ventilation, des gaines et des entrées et sorties dans chaque pièce
- contrôler l'étanchéité à l'air de l'habitation préalablement car le système sera plus efficace si elle est inférieure à 1,5 vol/h
- prévoir une sonde d'humidité dans les pièces humides

Principe du système de ventilation double flux




## Se protéger du soleil en été : la surchauffe

Tout comme on cherche à obtenir un bâtiment bien conçu pour l'hiver, il faut que le bâtiment fonctionne bien également en été. Trop souvent, on néglige cet aspect du processus, on pense à l'hiver : retenir au maximum la chaleur contenue à l'intérieur (isolation renforcée, étanchéité à l'air et ventilation double flux), et amener un maximum de soleil dans la maison (énergie gratuite) - on oublie que les grandes surfaces vitrées au sud qui procurent un vrai plaisir en période hivernale peuvent développer une surchauffe intenable en été.

L'isolation renforcée fonctionne dans les deux sens (garder le chaud ou garder le froid) si l'on permet au soleil de pénétrer dans le bâtiment en été, la chaleur y sera emprisonnée, et c'est la surchauffe assurée !

Pour l'éviter prévoyez lors de la conception des ombrages extérieurs sur les surfaces vitrées fortement exposées : claustras, stores, screens, volets, marquises, casquettes, etc.

## Un système de chauffage performant

L'installation de chauffage couvre les besoins de chauffage de l'habitat. La rénovation énergétique du bâtiment va revoir les besoins de chauffage à la baisse. Il conviendra donc de redimensionner et de planifier une nouvelle installation sur la base d'un bilan des besoins en chauffage.

L'isolation, l'étanchéité à l'air et la suppression des ponts thermiques réduisent fortement ces besoins. Par conséquent, plus on investit dans l'isolation, moins on est lié à un système de chauffage. L'idéal est d'évaluer la puissance de la chaudière ou de l'appoint de chaleur après travaux.

La rénovation basse énergie d'un bâtiment et la réduction de la température de consigne du chauffage permet d'envisager diverses pistes intéressantes :

- réduire la puissance nécessaire pour la chaudière et par conséquent sa consommation et la place de stockage nécessaire pour le combustible
- réduire les besoins en combustibles permet d'envisager de se chauffer au bois ou aux pellets alors que ce n'était peut-être pas possible avant rénovation pour des raisons de stockage, de manutention et de confort
- améliore le rendement des chaudières au mazout et au gaz
- permet d'envisager un soutien solaire thermique au chauffage

- permet d'envisager avantageusement l'option de la pompe à chaleur
- le bois en combinaison avec le solaire thermique peut constituer une solution efficace et durable
- enfin, lorsque les besoins de chauffage diminuent, la production de chaleur centralisée pour plusieurs habitations peut s'envisager

Chaudière gaz ECS haute performance avec boilier isolé.

Circulateur électronique à vitesse variable.

## Comment réduire le coût du chauffage ?

### Économies d'énergie importantes

- installation d'une chaudière à haut rendement (chaudière gaz ou mazout à condensation) avec un système de régulation performant
- installation d'une pompe à chaleur ou d'une mini centrale de co-génération (chaleur et électricité)
- installation de panneaux solaires thermiques en soutien au chauffage et production d'ECS

### D'autres économies d'énergie sont possibles

- remplacement d'un vieux circulateur par un circulateur économe
- isolation des conduites de chauffage et d'ECS
- installation de vannes thermostatiques et de système de régulation du chauffage
- placement d'une sonde extérieure couplée à une chaudière récente à température glissante

Par contre, la rénovation des tuyauteries, le remplacement du combustible, l'installation d'un chauffage central plutôt que des convecteurs isolés ne permettent pas en tant que tel de réaliser des économies.

Vous l'aurez compris, rien de tel que l'amélioration de la performance de l'enveloppe du bâtiment.

## Les systèmes de chauffage

Nous n'approfondirons pas ici les différents systèmes de chauffage. Lors de la conception d'une installation de chauffage ou lors de la rénovation de celle-ci, le maître d'ouvrage se souviendra que l'installation forme un tout.

Elle comprend :

- la source de chaleur : gaz, mazout, bois, pellet (combustibles), soleil, électricité + eau ou air pour les pompes à chaleur
- la production de chaleur : chaudière et/ou poêle et/ou panneaux solaires et/ou pompe à chaleur et/ou co-génération
- l'évacuation des gaz de combustion : cheminée, ventouse
- l'accumulateur de chaleur éventuelle : ballon, boiler, sol, mur
- la distribution de chaleur : les conduits de chauffage et/ou les conduits d'air chaud
- les corps de chauffe : radiateurs, circuits d'eau chaude dans le sol ou dans les murs, convecteurs
- le système de régulation : température de service, vanne thermostatique, thermostat d'ambiance, régulation automatisée sur base de la température extérieure

Chacun de ces éléments du système peut influencer le rendement final de l'installation et mérite une attention particulière en fonction des critères énergétiques (rendement, dimensionnement, isolation), mais aussi de coûts d'installation et d'entretien, d'encombrement, et de confort d'utilisation.

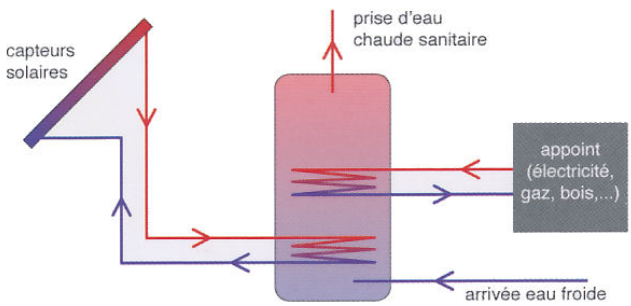
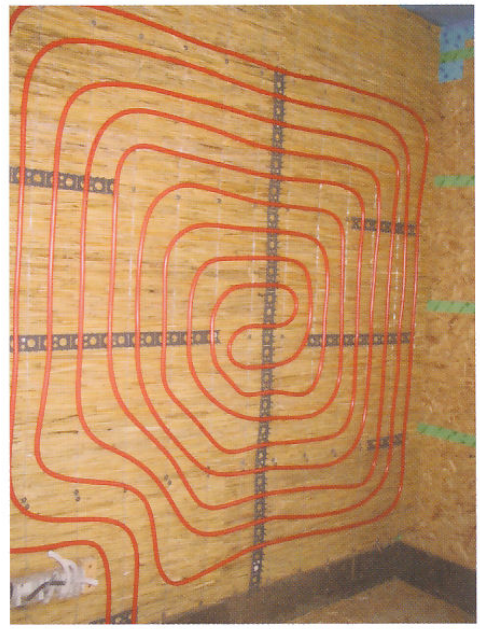



Schéma de principe de la combinaison d'un poêle-chaudière à bois avec un soutien solaire thermique.



Chauffage mural.

Parmi les solutions performantes, nous trouvons :

- les chaudières à base de combustibles fossiles : chaudières à condensation gaz ou mazout
- les chaudières à base de combustibles renouvelables (pellets, plaquettes, bûches)
- les poêles à pellets ou bûches/poêles de masse
- le solaire thermique en soutien à l'installation de chauffage
- la centrale de microcogénération (gaz/pellets)
- la pompe à chaleur

# Le confort

### Le confort thermique

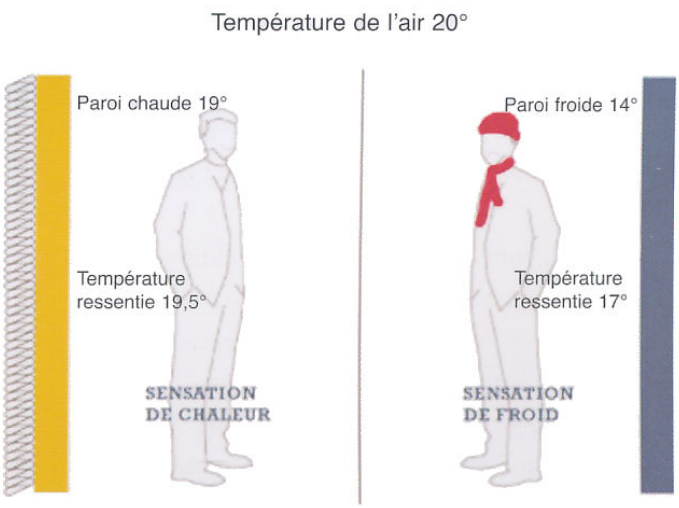
Les éléments déterminant le confort thermique seront tous pris en compte dans la conception de la rénovation. L'objectif «basse énergie» correspond, nous l'avons vu, à une performance visée pour le bâtiment. Ce n'est pas à confondre avec la sensation finale de confort thermique que le maître d'ouvrage ressentira dans sa maison.

Ce confort thermique est déterminé par :

- la température de l'air
- la température des parois
- les déplacements d'air
- le type de chauffage : par rayonnement ou convection
- l'effusivité des recouvrements de sol

La température des parois est souvent un facteur négligé dans les constructions et les rénovations. Or, des parois «chaudes» permettent de réduire conséquemment les besoins de chauffage pour une sensation de confort équivalente. Cela peut plaider pour le choix d'un système de chauffage mural basse température, ainsi qu'une isolation de l'enveloppe par l'extérieur.

Autre exemple, nous connaissons tous la sensation de bien-être lié aux rayonnements d'un poêle à bois. A l'inverse, la soufflerie d'une VMC travaille par convection provoquant des mouvements d'air qui peuvent être inconfortables dans certaines pièces. Enfin, comme nous perdons une bonne partie de nos calories par contact des pieds, le choix d'un revêtement de sol peu conducteur peut s'avérer judicieux. Sur ce point, le liège excelle, le bois est efficace, le carrelage ou la pierre sont médiocres, exceptés sur chauffage au sol.




Sensation de confort en fonction de la température de l'air et des parois.

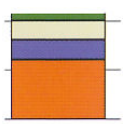
Intérieur avant travaux.

Intérieur après travaux.

**Grille d'évaluation de l'importance et des conséquences d'une rénovation énergétique – logement occupé**

| Situation de départ | Amélioration énergétique d'un logement logement déjà occupé | |
|---|---|---|
| Type de rénovation | Rénovation sans travaux réels | Rénovation légère sans modification de la structure et de l'espace |
| Exemple de travaux | - Amélioration étanchéité portes et fenêtres<br>- Installation thermostat/sonde extérieure<br>- Isolation conduite chauffage/eau chaude sanitaire hors volume chauffé | - Isolation de la toiture ou plancher des combles<br>- Remplacement châssis<br>- Isolation des parois vers une cave non chauffée<br>- Isolation d'un mur extérieur… |
| Budget disponible | Pas de budget disponible | Budget réduit < de 200 €/m² |
| Part du budget énergie sur le total | | La quasi-totalité |
| Amortissement de l'investissement énergie | | Moyen à long |
| Autres facteurs influençant le choix de l'objectif énergétique | | Impossibilité de quitter le logement ou de n'occuper qu'une partie du logement |
| Condition d'occupation du logement pendant travaux | - Agir sur de petits investissements économiseurs d'énergie (vannes thermostatiques, feuilles réfléchissantes derrière les radiateurs, comportement, thermostats, calfeutrage fenêtres et portes, isolation des conduites de chauffage et d'eau chaude …) | - Agir sur l'enveloppe «accessible», de l'étanchéité à l'air, ou des techniques spéciales.<br>- Murs et toiture par l'extérieur - Isolation des coulisses, planchers des combles et sur caves et accès<br>- Remplacement châssis, amélioration de l'étanchéité à l'air et du système de ventilation, isolation des gaines de chauffage et d'ECS<br>- Remplacement de l'ancienne chaudière, chauffe eau solaire. |
| Participation aux travaux Auto-rénovation | Assez accessible. Mais attention à la qualité de la mise en œuvre sur les performances énergétiques.Visite par des conseillers énergie nécessaire | |
| Se faire accompagner par … | - Guichet de l'énergie<br>- Internet, livre, …<br>- Audit énergétique<br>- Conseiller énergie | - Auditeur-conseiller énergie<br>- Audit énergétique conseillé |
| Objectif énergétique pouvant être atteint (besoin en énergie de chauffage - Ep) | > 250 kWh/m².an | |

## Résumé de la démarche d'un projet basse consommation



◆ objectif – constat : définir son propre objectif énergétique en connaissance de cause

◆ orientation : favoriser l'entrée du soleil dans les pièces de vie au maximum. Une énergie gratuite

◆ compacité : favoriser un volume compact diminue les surfaces de déperdition de l'enveloppe pour un même volume habitable

◆ isolation : isoler selon VOTRE objectif énergétique

◆ supprimer les ponts thermiques : isoler de manière continue et sans interruption. Ne négligez pas l'impact des ponts thermiques

◆ étanchéité à l'air : assurer l'étanchéité du bâtiment au maximum et sans interruption ! Effectuez un test "Blower Door" en cours de chantier

## Grille d'évaluation de l'importance et des conséquences d'une rénovation énergétique – logement non occupé

| Situation de départ | Amélioration énergétique lors d'un achat avant occupation | | |
|---|---|---|---|
| Type de rénovation | Rénovation plus lourde avec modification de la structure et/ou espace | Rénovation lourde avec objectif énergétique basse énergie | Rénovation lourde avec objectif très basse énergie ou passif |
| Exemple de travaux | - Isolation d'un sol dont le revêtement est renouvelé<br>- Isolation d'un mur extérieur | - tous les travaux, soit < 60 kWh/m².an (BE) | - soit < 30 kWh/m².an (TBE)<br>- soit < 15 kWh/m².an (MP) |
| Budget disponible | Budget réduit<br>200 €/m² à 500 €/m²) | Budget moyen<br>500 €/m² à 800 €/m² | Budget important<br>> 800 €/m² |
| Part du budget énergie sur le total | | Relativement faible fondu dans l'ensemble du budget | |
| Amortissement de l'investissement énergie | | Rapide, étant donné que les coûts énergie sont fondus dans l'ensemble du budget | |
| Autres facteurs influençant le choix de l'objectif énergétique | - Possibilité d'effectuer des travaux intérieurs tout en restant dans le logement (petite famille ou grand logement) | - Possibilité de quitter le logement pendant les travaux<br>- Prescriptions urbanistiques interdisant ou limitant certains travaux | - Possibilité de quitter le logement pendant les travaux<br>- Prescriptions urbanistiques interdisant ou limitant certains travaux<br>- Limitations techniques et contraintes de la situation existante du bâtiment |
| Condition d'occupation du logement pendant travaux | - Agir en profondeur sur l'enveloppe (murs, sols, toiture) | - Agir en profondeur sur l'enveloppe (murs, sols, toiture)<br>- Agir sur l'amélioration de l'étanchéité à l'air et d'une ventilation contrôlée<br>- Agir sur le système de chauffage (amélioration ou modification) | - Agir en profondeur sur l'enveloppe (murs, sols, toiture)<br>- Agir sur l'amélioration de l'étanchéité à l'air et d'une ventilation contrôlée<br>- Agir sur le système de chauffage (amélioration ou modification) |
| Participation aux travaux – Auto-rénovation | Peu accessible.<br>Suivi nécessaire par un architecte, un bureau d'étude et/ou un conseiller énergie | | |
| Se faire accompagner par ... | - Architecte conseillé pour vue à long terme sur les espaces<br>- Conseiller énergie pour intégrer l'amélioration des performances énergétique aux modifications de l'architecte<br>- Analyse énergétique conseillée pour atteindre un objectif de réduction énergétique | - Architecte conseillé pour vue à long terme sur les espaces<br>- Conseiller énergie pour intégrer l'amélioration des performances énergétique aux modifications de l'architecte<br>- Analyse énergétique fortement conseillée pour atteindre un objectif de réduction énergétique (BE) | - Architecte conseillé pour vue à long terme sur les espaces<br>- Conseiller énergie pour intégrer l'amélioration des performances énergétique aux modifications de l'architecte<br>- Analyse énergétique obligatoire pour atteindre un objectif de réduction énergétique important (TBE/MP) |
| Objectif énergétique pouvant être atteint (besoin en énergie de chauffage - Ep) | | | < 30 kWh/m².an |

◆ ventilation : ventiler de manière contrôlée et avec une récupération de l'énergie sur l'air extrait (à 20°C )

◆ surchauffe : s'ouvrir au soleil en hiver, se protéger de celui-ci au maximum en été. Privilégier les protections solaires extérieures et si possible automatisées

◆ chauffage : une fois les besoins en chauffage réduits au strict minimum, opter pour des systèmes de chauffage performants et à énergie renouvelable

Fibre de bois
Polyuréthane

Pierres

# Maison à Vincennes

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment rénovation | **Maison bourgeoise**
Calendrier | **Fin 2009 - Septembre 2010**
Programme de la rénovation | **Maison unifamiliale de 4 chambres - 208 m² "chauffés"**
Besoins en chauffage avant travaux | **357 kWh/m²**
Besoins en chauffage après travaux | **50 kWh/m²**
Surface brute | **153 m² avant travaux**
Budget des travaux | **948 €/m²**

## Particularités du projet

Isolation par l'extérieur
Réflexions et expériences concernant l'isolation

## Difficultés rencontrées

Reprise du batî extérieur avec rehausse du toit et reconstruction des corniches sur ITE
Mise en œuvre de l'étanchéité par l'isolation du mur mitoyen

## Intervenants

Maître d'ouvrage | **Privé**
Architecte | **Atelier Zündel & Cristea**
Entreprises de construction | **TCE SG -**

## Standard énergétique

BBC

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols | **U=0.21 w/m²K R=4,76 m².K/W**
**Dalle de béton sur sol : 4 cm de polyuréthane sous dallage**
Murs | **Façades existantes Isolation par l'extérieur : 10 cm de polyuréthane**
**U=0.26 w/m²K R=3,84 m².K/W**
**Façades extension Isolation par l'intérieur : 10 cm de polyuréthane**
**U=0.25 w/m²K R=4,00 m².K/W**
**Isolation mur mitoyen : laine de roche 6 cm**
**U=0.20 w/m²K R=5 m².K/W**
Toitures | **Isolation par l'intérieur : 30 cm de fibre de bois**
**U=0.13 w/m².K - R=7,69 m².K/W -**
Terrasse | **10 cm de polyuréthane sur dalle béton**
**U=0.27 w/m².K R=3,70 m².K/W**

## Vitrage

**Double vitrage avec châssis bois**
**Ug=1.2 W/m².K**

## Chauffage et eau chaude sanitaire

**Pompe à chaleur 12 kw eau/eau**
**Plancher chauffant**
**Ballon d'eau chaude 350 l couplé avec la PAC**

## Ventilation

**Double flux avec récupération de chaleur**

Fiche réalisée par Christophe Hordé

# Introduction

## D'un projet de rénovation....

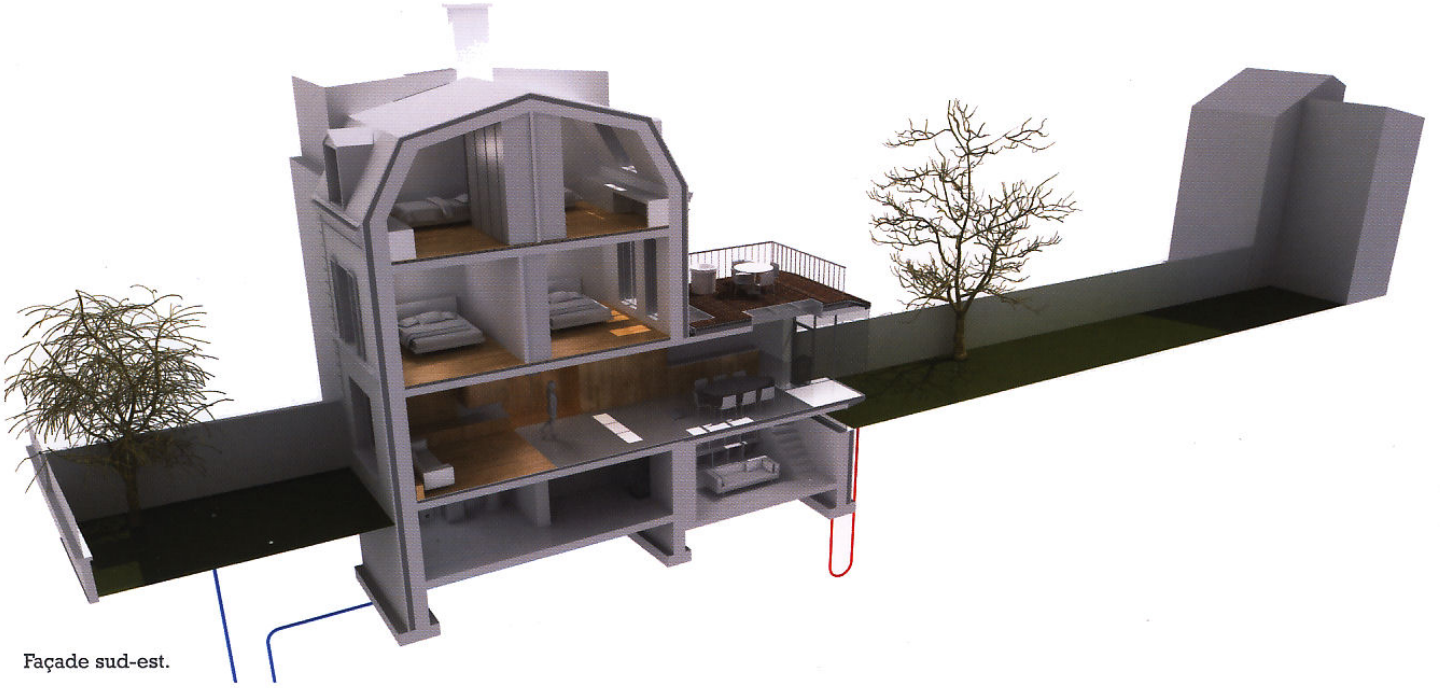
Pour cette famille, la recherche d'un logement en région parisienne n'était pas des plus facile. Ils souhaitaient rester proche de leur lieu de travail à Paris et, confrontés au manque de terrain à bâtir, ils se sont tournés vers le marché de l'ancien.

Ils ont finalement choisi une maison bourgeoise du 19e, qui a ce cachet caractéristique des maisons de l'époque avec ses corniches et ses murs de pierre. Installée sur un petit terrain, elle ne comportait que 120 m² habitables au sens de la loi Carrez mais en fait seulement 90 m² dans lesquels il était possible de vivre. Les combles n'étaient pas aménagées.

Cela nécessitait de gros travaux d'aménagement et d'extension.

## à un projet très basse énergie...

Si réaliser un projet performant et faiblement émissif était une évidence pour les maîtres d'ouvrage, ils souhaitaient aussi concevoir un beau projet avec des espaces de qualité et dans lesquels les habitants se sentent bien.



Façade sud-est.

Le projet devait être performant énergiquement et permettre de profiter du jardin en intégrant son espace dans la perspective de la maison.

Le sous-sol a été repris complétement ainsi que la disposition du rez-de-chaussée avec la création d'une extension permettant d'avoir une baie vitrée donnant sur le jardin. Un espace de vie pour la famille intégrant un salon, une cuisine et une salle à manger.

La création de l'extension à l'arrière permet aussi d'ajouter une terrasse au 1er étage accessible par un escalier partant du rez-de-chaussée. Cette terrasse est aussi accessible par la chambre parentale. L'aménagement des combles permet de créer deux chambres supplémentaires pour les enfants.

## Conception architecturale

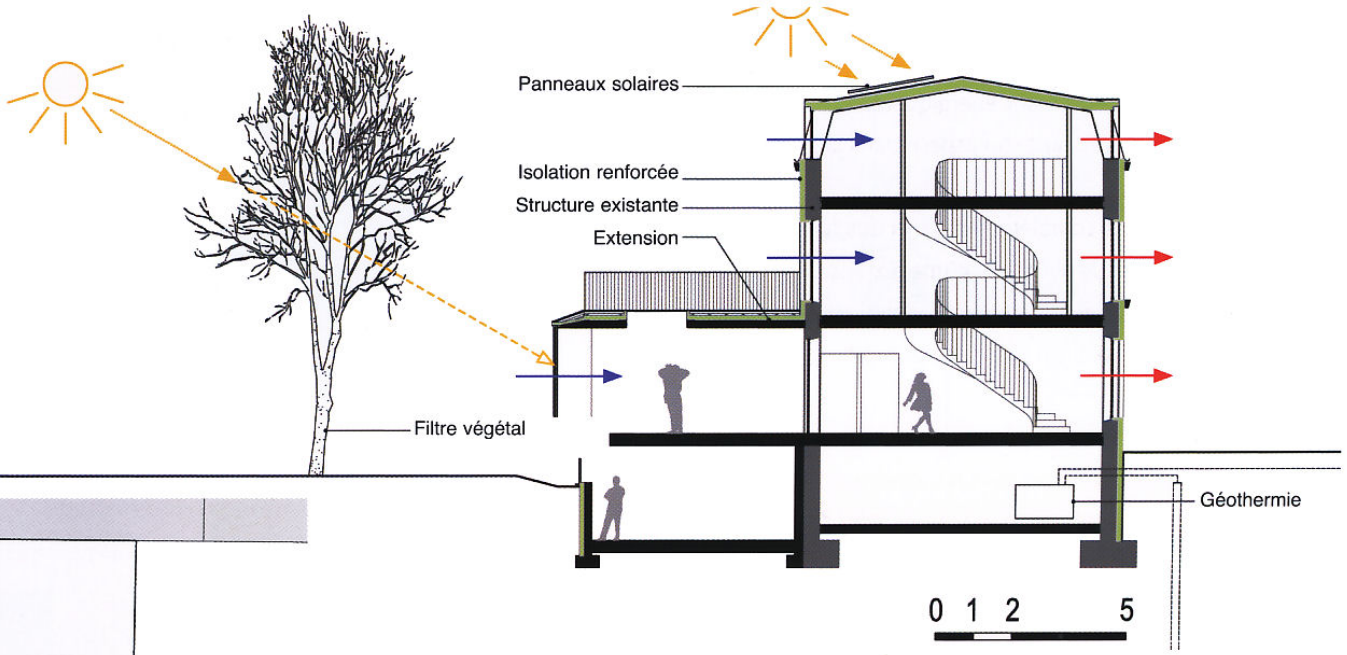
La difficulté de reprise du bâti, qui comme la plupart de ces maisons n'a aucune isolation, était de se conformer aux directives des Architectes et Bâtiments de France. En effet, le plan d'occupation des sols impose certaines contraintes. Il n'est pas possible de modifier une façade sans un avis des ABF. Ceux-ci obligeaient le maître d'ouvrage à restituer la façade dans l'existant. Le choix d'une isolation par l'extérieur, beaucoup plus performante qu'une isolation intérieure qui aurait réduit la surface habitable, impliquait de trouver des solutions techniques pour reconstituer la façade à l'identique.

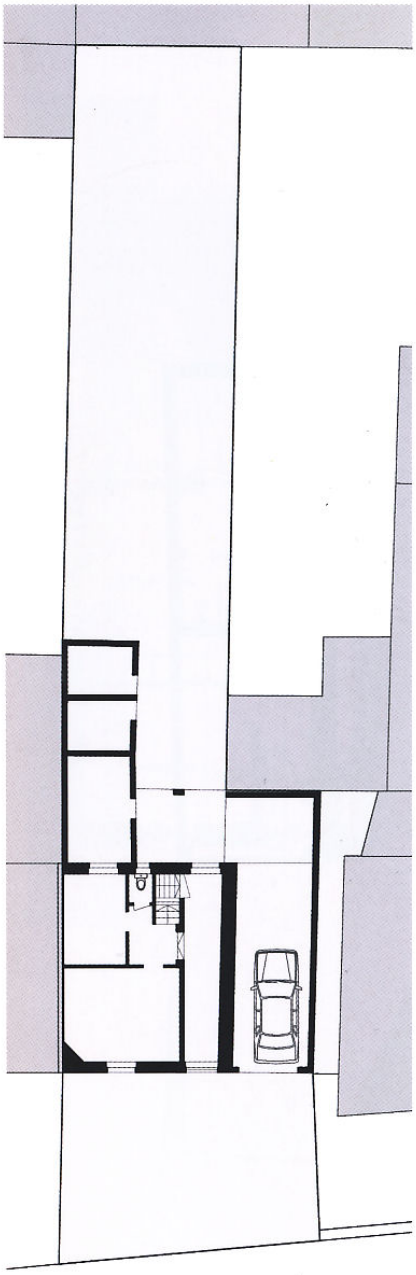
Le mauvais état du bâtiment, peu entretenu, nécessitait une rénovation totale. Une toiture affaisée, des enduits de façade à refaire, des châssis non étanches, et une disposition des pièces non fonctionnelle, décidèrent les nouveaux propriétaires à prévoir de gros investissements de rénovation. La solution radicale de casser l'ensemble des dalles intérieures a été choisie. Cela a permis de travailler sur une meilleure utilisation des espaces intérieurs et de repositionner l'emplacement de l'escalier.

L'ancienne salle de bain.

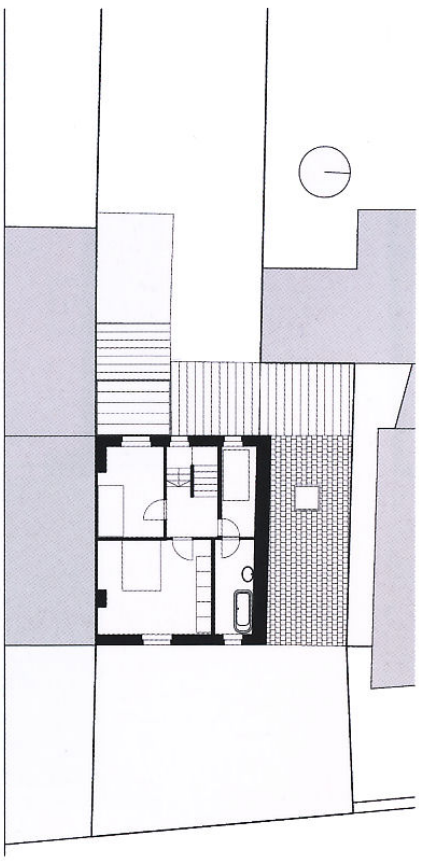
L'ancien chauffage au gaz.

L'arrière de la maison avec l'appentis et l'annexe.

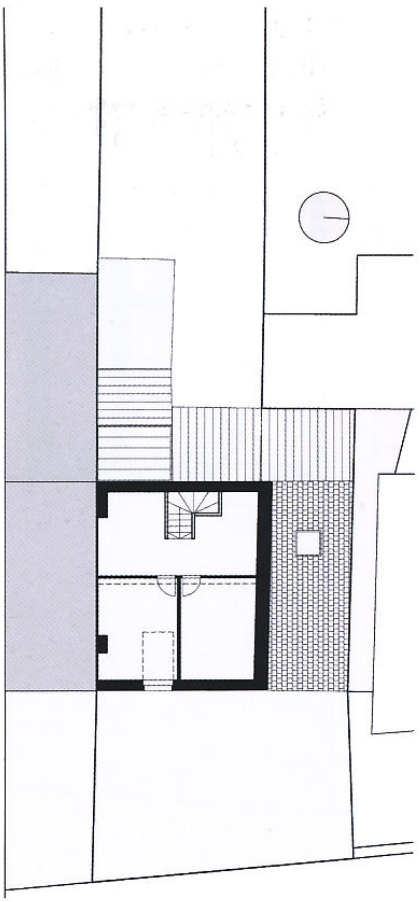


Plan maison existant. Rez-de-chaussée.

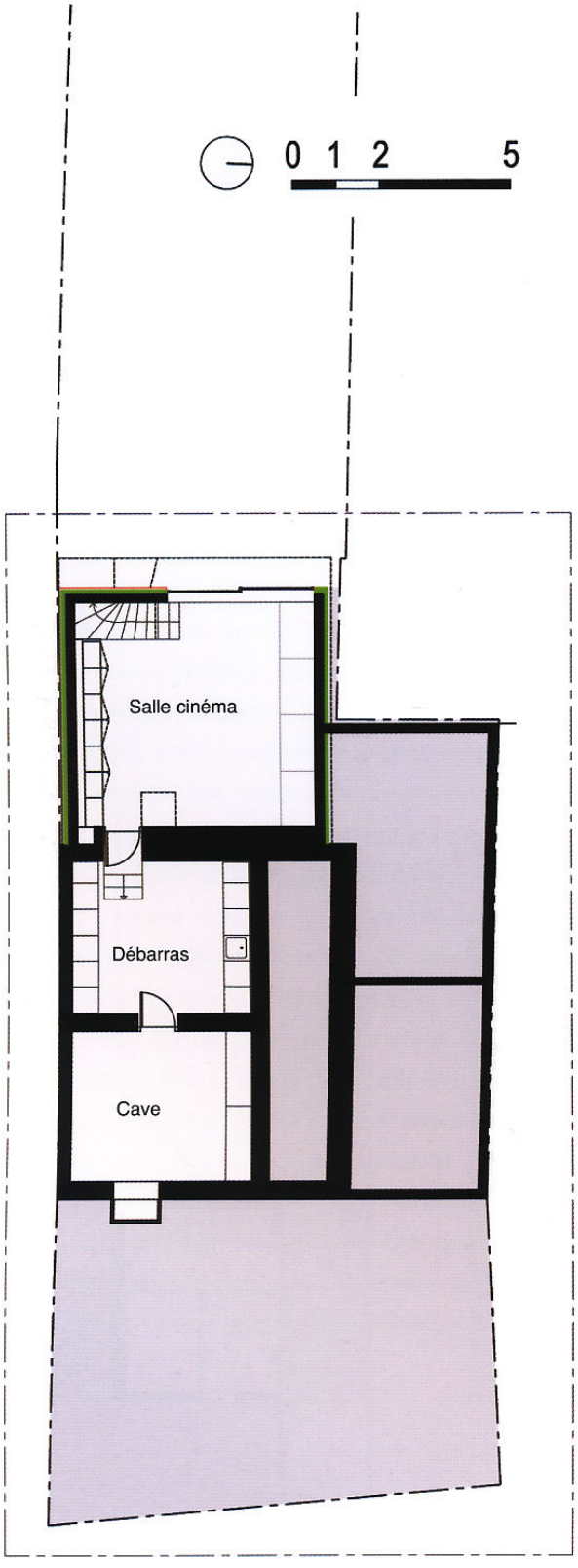


1er étage.

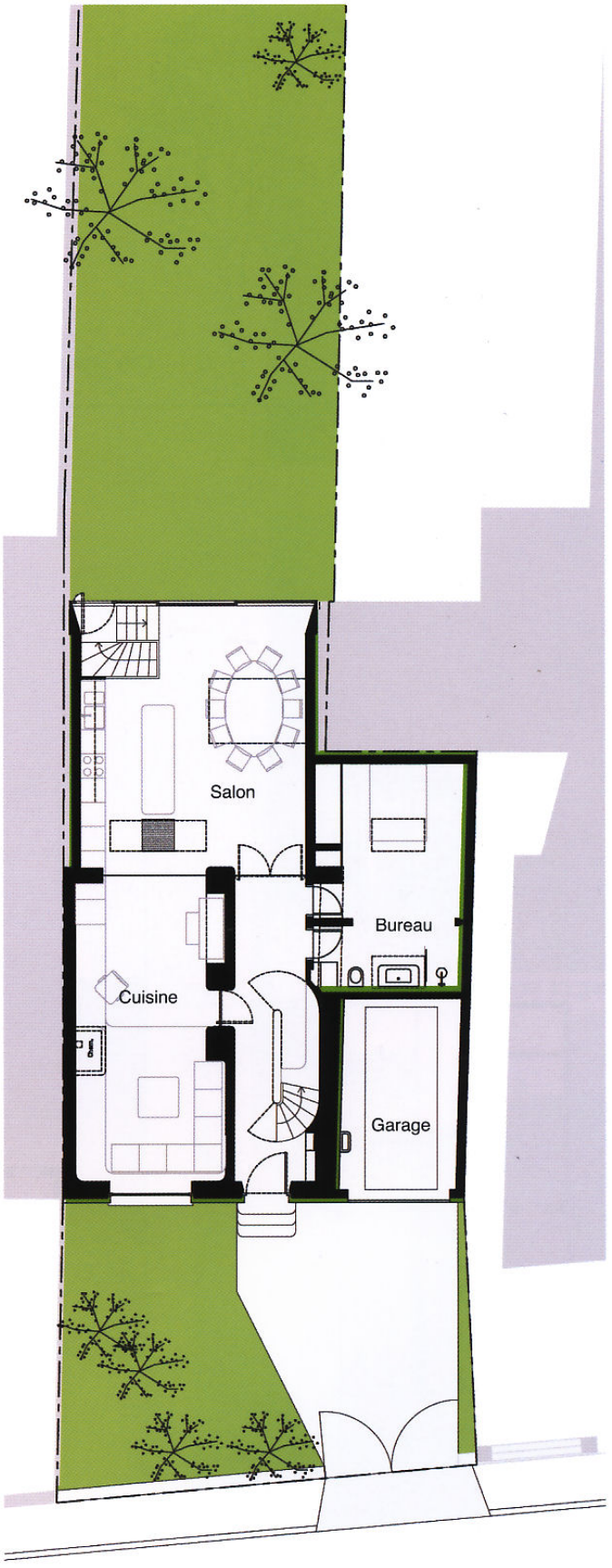


Combles.

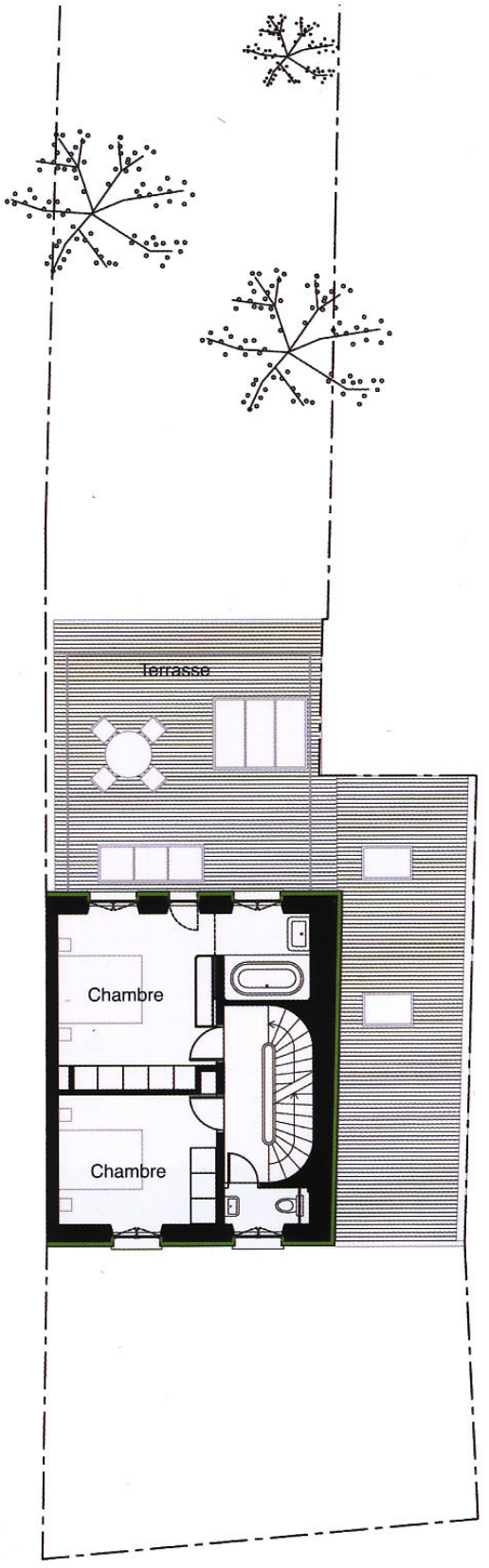
Plans de la rénovation.



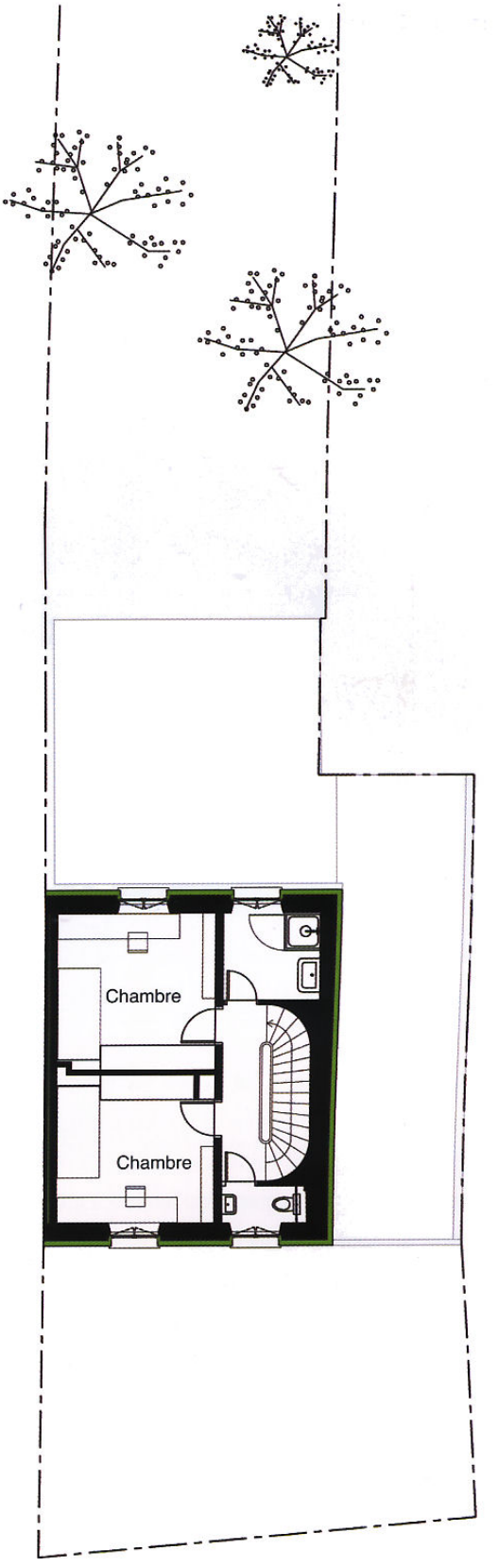

Sous-sol.




Rez-de-chaussée.




1er étage




Combles aménagés.

## Amélioration de l'enveloppe

L'isolation extérieure a été posée sur l'ensemble du batiment. Cette isolation constituée d'un isolant (système sto therm Céramic de Weber) offrait la possibilité de réaliser les moulures d'angles et les encadrements de fenêtre à même l'isolation. Cela a permis de garder l'aspect original à la façade avec un enduit à l'ancienne. Les maîtres d'œuvre ont envisagé une isolation en mousse de polyuréthane projetée du fait de sa capacité thermique, mais la difficulté de trouver un prestataire, et l'organisation du chantier un peu chaotique avec changement d'entreprise générale à mi-chantier, les ont obligé à revenir à un système classique de plaque en polyuréthane.

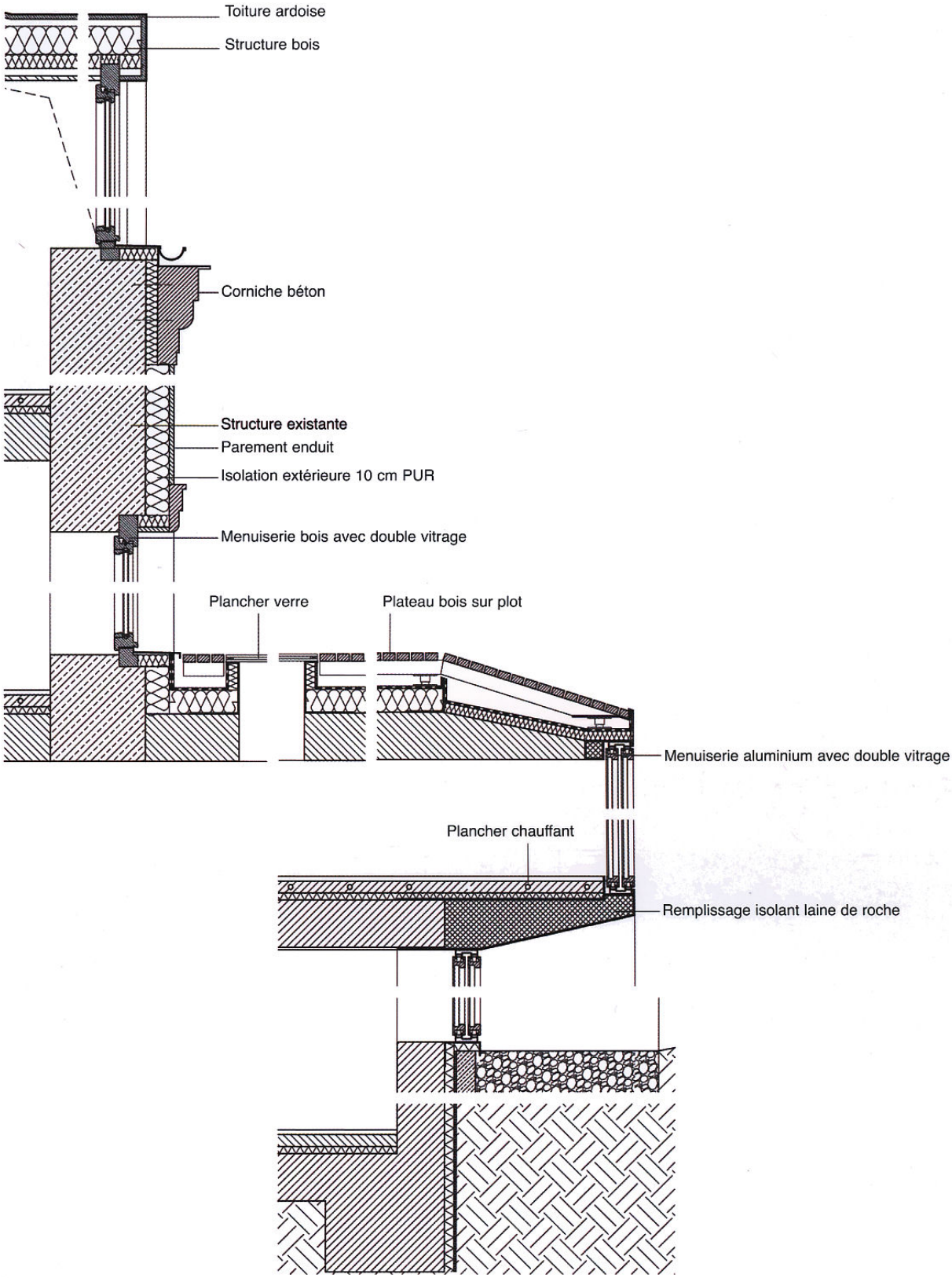
## Toiture

L'aménagement des combles a nécessité le rehaussement du toit. Celui-ci, qui était à deux versants, a été transformé avec un brisis dit toit à la Mansard. Caractéristique des maisons de cette époque, ce toit permet une hauteur suffisante pour créer deux chambres et une toilette, ainsi que le rajout de 3 lucarnes en pignon.

Pour l'isolation de la toiture, des panneaux de fibre de bois et le système MCP Micronal de BASF, associé aux plaques SmartBoard (tm) ont été retenus. Ce matériel à changement de phase, incorpore des microcapsules de cire dans des plaques de plâtre. Elles se liquéfient à partir de 26° et absorbent la chaleur excédentaire pour la restituer la nuit avec la baisse de température. Cette chaleur restituée peut être extraite par ventilation notamment en été. Cette isolation est couplée avec une étanchéité à l'air parfaite. Le confort thermique est excellent.

| | |
|---|---|
| Ardoises | 1 cm |
| Voligeage | 2 cm |
| Lame d'air | 2 cm |
| Fibre de bois | 30 cm |
| Pare vapeur | |
| Lame d'air | 5 cm |
| Plaque de plâtre SmartBoard (tm) | 1,5 cm |
| **U = 0.13 W/m²K** | **41,5 cm** |

L'intérieur avec les planchers descendus.




Détails de l'enveloppe et de l'extension.

## Murs et sols

### Murs intérieurs

Le mur mitoyen étant pas plan, il a donc fallut monter un contre-mur en parpaing avec une isolation en polystyrène. L'avantage a été de reposer la dalle directement sur ce mur et de renforcer l'isolation.

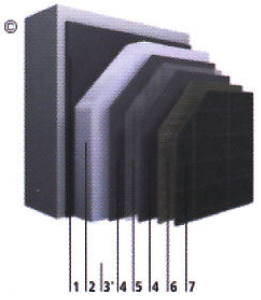
| | |
|---|---|
| Pierre mur mitoyen | 40 cm |
| Isolant laine de roche | 10 cm |
| Parpaing | 20 cm |
| Enduit plâtre | 6 cm |
| **U = 0.20 W/m²K** | **76 cm** |

Intérieur mis à nu.

### Murs extérieurs

Le procédé D'ITE StoTherm céramic a été mise en œuvre sur les trois murs extérieurs. Il permettait d'éliminer l'ensemble des ponts thermiques et de refaire une façade, l'ancienne étant particulièrement dégradée. Ce système est facile à mettre en œuvre car il ne nécessite ni sous-construction spécifique, ni ancrages. Ce système qui peut recevoir jusqu'à 50 kg/m² de surchage permet de réaliser les moulures d'angles et les encadrements de fenêtres à même l'isolation. Les corniches ont été reconstituées et fixées à la façade avec l'aide d'un rupteur thermique.

| | |
|---|---|
| Finition céramique | 1 cm |
| Enduit + trellis d'armature | 1 cm |
| Isolant polyurétane | 10 cm |
| **Murs extérieurs** | **50 cm** |
| **U = 0.26 W/m²K** | **67 cm** |




1 Collage
2 Isolant
3 Fixation (non représentée)
4 Enduit de marouflage
5 Enduit de base + trellis d'armature
6 Mortier de collage
7 Finition céramique/carrelage

Procédé ITE StoTherm Céramic.

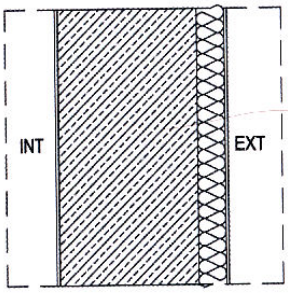
### Sol

Une dalle classqiue a été coulée et pour le 1er étage des hourdis avec polystyrène sont ancrés sur le contre-mur du mur mitoyen.

| | |
|---|---|
| Dalle en béton rez-de-chaussée | 20 cm |
| Film | 0,1 cm |
| Isolation en polystyrène | 4 cm |
| Chape et enduit béton | 5cm |
| Carrelage | 1 cm |
| **U = 0.21 W/m²K** | **30 cm** |

Intérieur mis à nu.

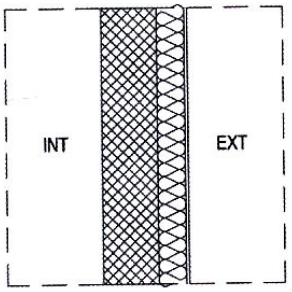
Détails des enveloppes des façades.




FACADE MAISON EXISTANTE

ENDUIT PLATRE - 10mm
MUR PIERRE CALCAIRE - 500mm
ISOLANT POLYURETANE - 100mm
ENDUIT - 10mm

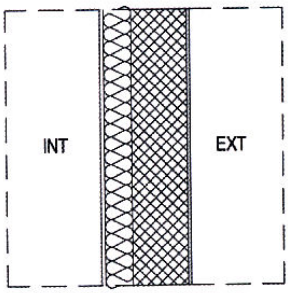
U FACADE = 0.26




FACADE EXTENSION

MUR AGGLO - 200mm
ISOLANT POLYURETANE - 100mm
ENDUIT - 10mm

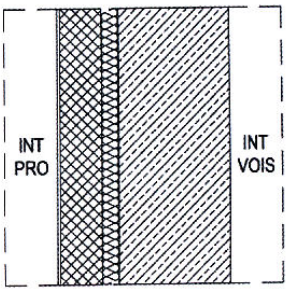
U FACADE = 0.25




FACADE EXTENSION - LIMITE NORD

PLAQUE DE PLATRE - 15mm
ISOLANT POLYURETANE - 10cm
MUR AGGLO - 20cm
ENDUIT - 1cm

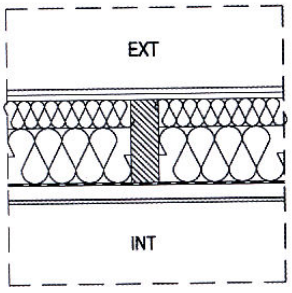
U FACADE = 0.25




FACADE EXTANT - MITOYEN SUD

ENDUIT PLATRE - 10mm
MUR AGGLO - 20cm
ISOLANT LAINE DE ROCHE - 60mm
MUR VOISIN - 400mm

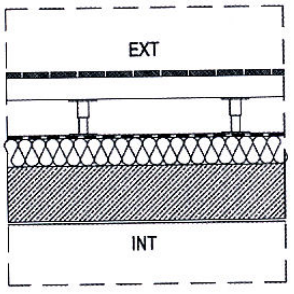
U FACADE =




TOITURE EXISTANT

PLAQUE DE PLATRE - 15mm
LAME D'AIR - 50mm
PARE VAPEUR
FIBRE DE BOIS - 300mm
LAME D'AIR - 20mm
VOLIGEAGE - 20mm

U TOITURE = 0.13




TOITURE TERRASSE EXTENSION

ENDUIT PLATRE - 10mm
DALLE BETON - 200mm
PARE VAPEUR
ISOLANT POLYURETANE - 100mm
ETANCHEITE - 20mm
PLATELAGE BOIS / LAMBOURDE - 20mm

U TOITURE = 0.27

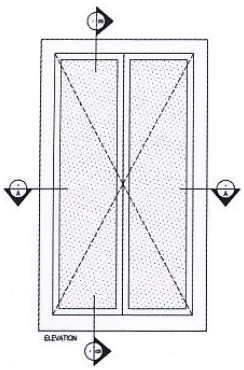
PLANCHER BAS EXTENSIO / EXISTANT

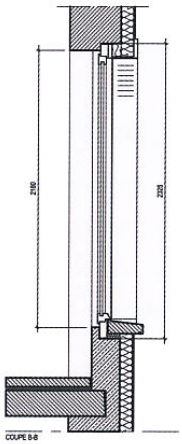
TERRE
POLYANE
ISOLANT POLYSTYRENE EXPANSE - 60mm
BETON - 200mm
ISOLANT POLYSTYRENE - 30mm
CHAPE BETON - 60mm
ENDUIT BETON - 10mm

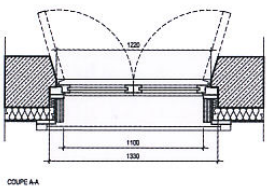
U PLANCHER =

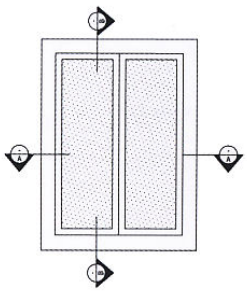
Dalle du rez-de-chaussée coulée.

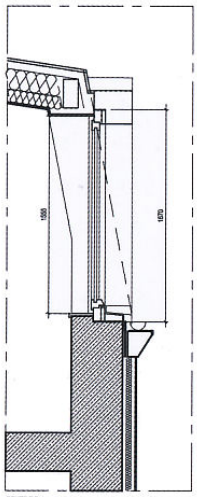
Détails des fenêtres et lucarnes.

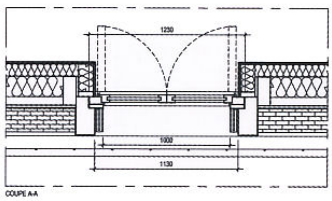


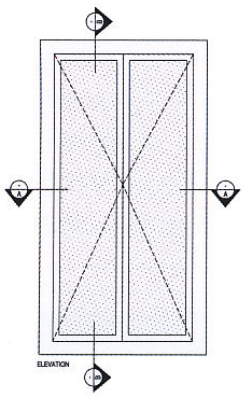



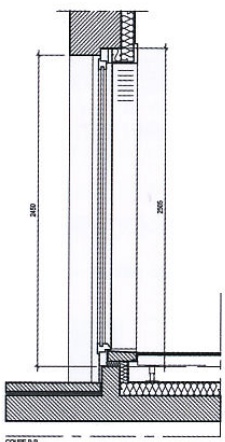



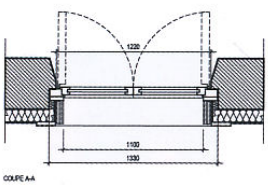



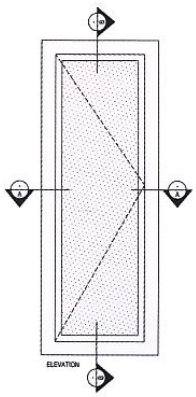


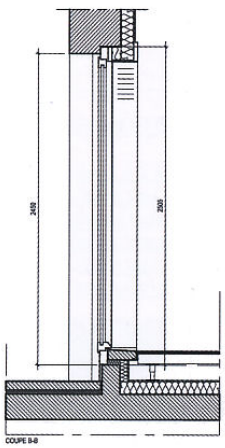



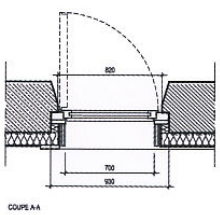



# L'extension

Cette extension était pour les propriétaires un choix important. Elle permettait une ouverture complète de la maison sur le jardin avec une baie vitrée sur toute sa largeur, la terrasse donnant sur la chambre des parents au 1er étage.

Le sous-sol a été agrandi en creusant à l'arrière de la maison pour prolonger le sous-sol existant sous l'extension. Le mur de clotûre a nécessité aussi une reprise. Ce mur déversé à dû être repris à la base par une semelle en béton armé, avant la pose d'un contre-mur en béton précontrain pour le sous-sol. Puis montage du mur en rez-de-chaussée en parpaing de 15 cm.

**Mur de l'extension sous-sol**

| | |
|---|---|
| Polystyrène | 15 cm |
| Parpaing | 15 cm |
| laine de roche | 6 cm |
| Pare vapeur | 0,2 cm |
| Contre cloison en plâtre | 1,5 cm |
| **U = 0.135 W/m²K** | **37,5 cm** |

**Mur de l'extension rez-de-chaussée**

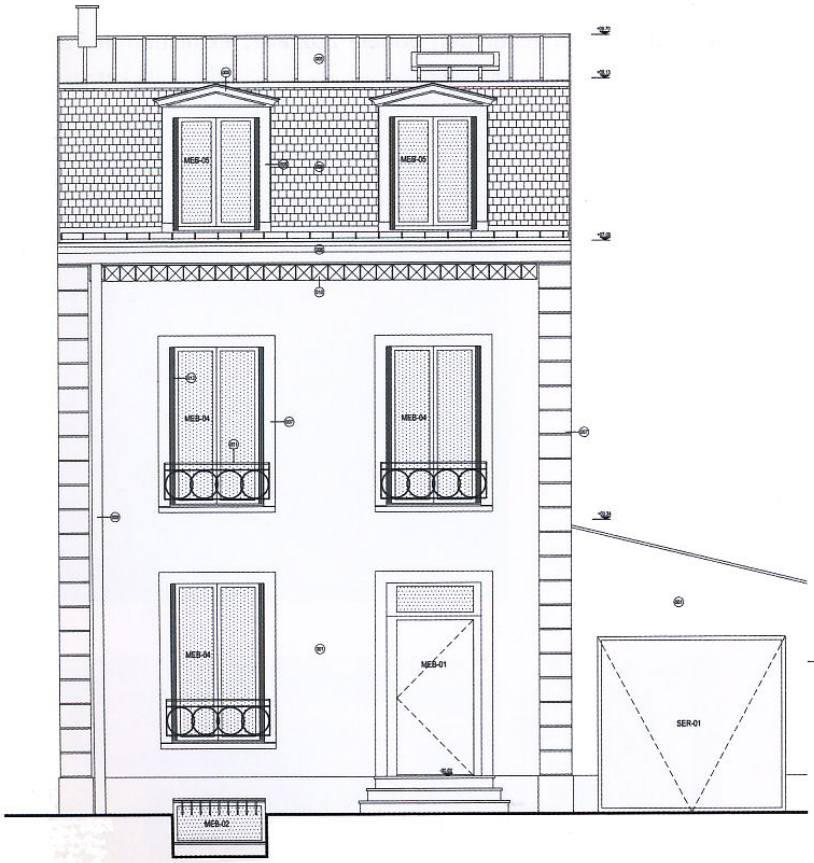
| | |
|---|---|
| Parpaing | 20 cm |
| Isolant Polyuthane | 10 cm |
| Contre cloison en plâtre | 1,5 cm |
| **U = 0.25 W/m²K** | **31,5 cm** |

**Vitrage**

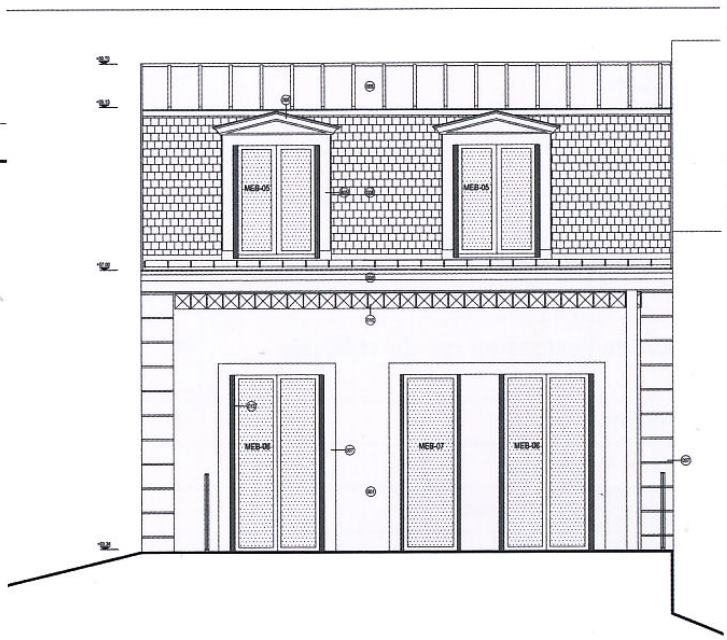
Cette extension de 38 m² en rez-de-chaussée avec un sous-sol dispose d'une surface vitrée de 31 m² en double vitrage.

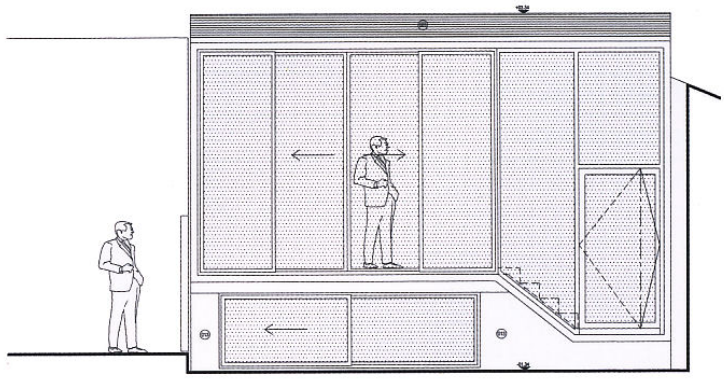
| | |
|---|---|
| Fenêtre double vitrage | Ug = 1.2W/m²K |
| Châssis aluminium | Uf = 1.6W/m²K |

Construction de l'extension.




Facade côté rue.



Facade côté jardin.

## Techniques spéciales

**Chauffage et production d'eau chaude sanitaire**

Au départ, la pompe à chaleur était prévue avec un système en surface qui était difficile à mettre en place compte tenu de l'étroitesse du terrain. Ensuite il a été envisagé de creuser deux puits mais le débit d'eau était insuffisant. La solution a été de réaliser deux forages de 100 m avec une distance de 20 mètres entre eux. Le premier forage s'est fait dans le jardin devant la maison et le deuxième dans le jardin arrière. D'une capacité de 12 kw, la pompe à chaleur est un peu surdimentionnée pour la surface, cependant l'utilisation d'un ballon d'eau chaude couplé à cette PAC permet de récupérer une consommation perdue.

**Ventilation**

Un système de ventilation double flux avec extraction de l'air vicié côté rue et entrée côté jardin permet un apport d'air "frais".

**Panneaux solaires**

Cette installation est prévue dans un deuxième temps.

Laine minérale

Briques creuses

# Pavillon à Baule

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment rénovation | Habitation construction des années 1960

Calendrier | 2008

Programme de la rénovation | Maison unifamiliale 3 chambres - 117 m² "chauffés"

Besoins en chauffage avant travaux | 572 kWh/m² par an

Besoins en chauffage après travaux | 92,7 kWhp/m² par an

Niveau d'étanchéité à l'air | 0,8 vol.m³/heure/m²

Type d'intervention | Rénovation lourde

Structure bâtiment avant rénovation | Briques creuses

Surface brute | 120.84 m²

Budget des travaux (HTVA/ m²) | 740 €/m² hors panneaux solaires

## Particularités du projet

Isolation par l'extérieur

Pose de panneaux solaires

## Difficultés rencontrées

Isolation du sous-sol

Traitement des ponts thermiques

## Intervenants

Maîtrise d'œuvre | Maisons CTVL. Groupe Fousse construction

## Standard énergétique

BBC

## Techniques d'isolation et matériaux

Murs |

Isolation par l'extérieur : 14 cm de cellumor 32

U=0.22 W/m²K R=4,54 m².K/W

Sols |

Isolation dalle de béton sur sol 100 mm de roufmat

U=0,289 W/m²K R=3,45 m².K/W

Toitures |

Isolation par l'intérieur : laine minérale 24 cm

U=0,13 Wm²K R=7,69 m².K/W

## Châssis et vitrages

Châssis PVC

Fenêtres de toit double vitrage Uf=1,9 W/m²K

Baies double vitrage Uf=1,6 W/m²K

## Chauffage

Pompe à chaleur 11kw

## Eau chaude sanitaire

Pompe à chaleur avec ballon de 300 l

## Ventilation

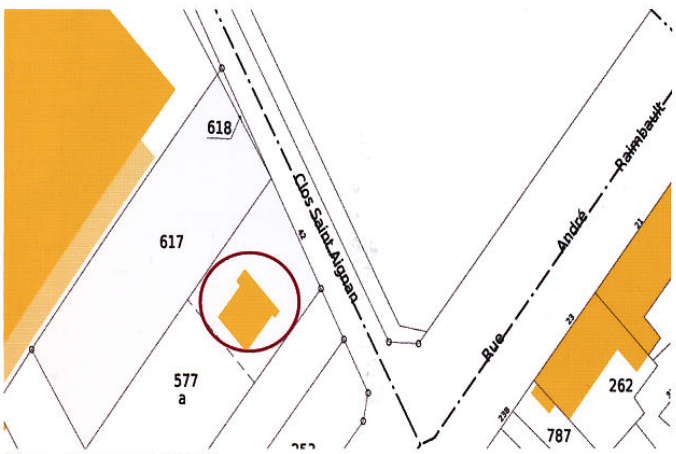
VMC simple flux

Fiche réalisée par Christophe Hordé

## D'un projet de rénovation...

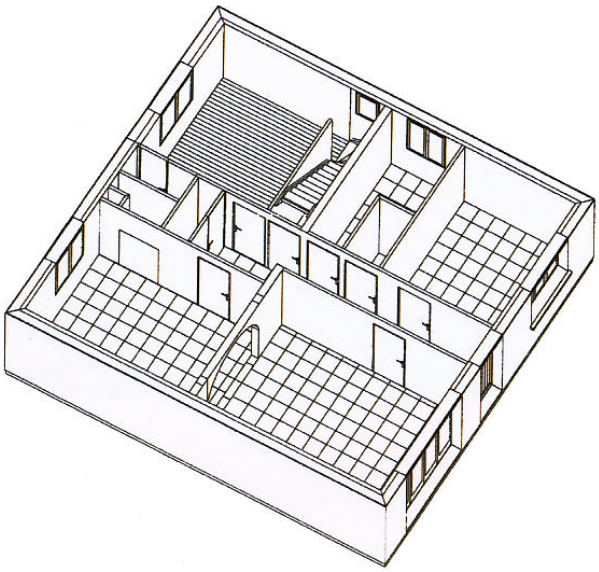
Cette maison est utilisée par l'entreprise CTVL, groupe Fousse qui la met à la disposition de son gardien. L'intérêt de cette rénovation est dans la banalité de cette construction. Elle n'a pas de cachet particulier et, comme des centaines de milliers de maisons construites durant cette période (avant les années 1975), elle avait besoin d'une sérieuse rénovation. En effet, avant 1975, il n'existait aucune norme d'isolation et la plupart du temps, les habitations avaient une isolation très rudimentaire : il fallait construire en diminuant les coûts au maximun sans aucune perspective sur le coût de fonctionnement, notamment le chauffage. Résultat : des logements énergivores et un inconfort permanent.

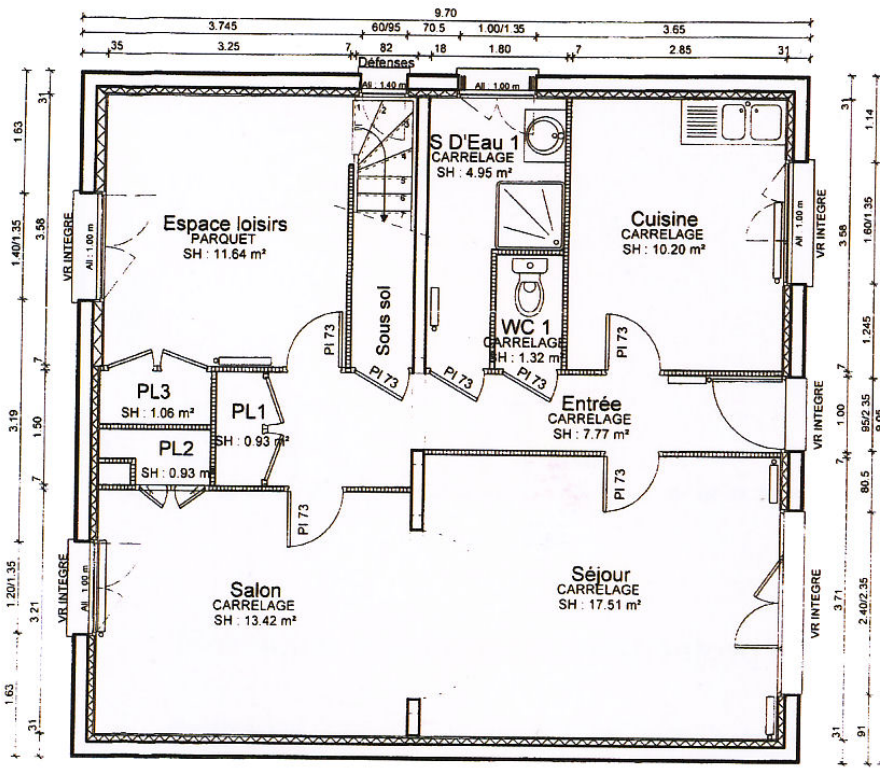
Construite dans les années 1960, elle ne disposait pas du confort actuel et était un véritable gouffre énergétique. C'est pourquoi CTVL a souhaité rendre cette habitation confortable et économique pour ses occupants tout en perfectionnant ses techniques de construction. La dégradation au cours des ans nécessitait une refonte des pièces et une mise au norme notamment de l'électricité. L'objectif était d'ajouter des chambres en aménageant les combles avec remplacement de l'escalier et changement intégral du chauffage, y compris les radiateurs. Il fallait aussi revoir complètement l'isolation en supprimant les ponts thermiques.



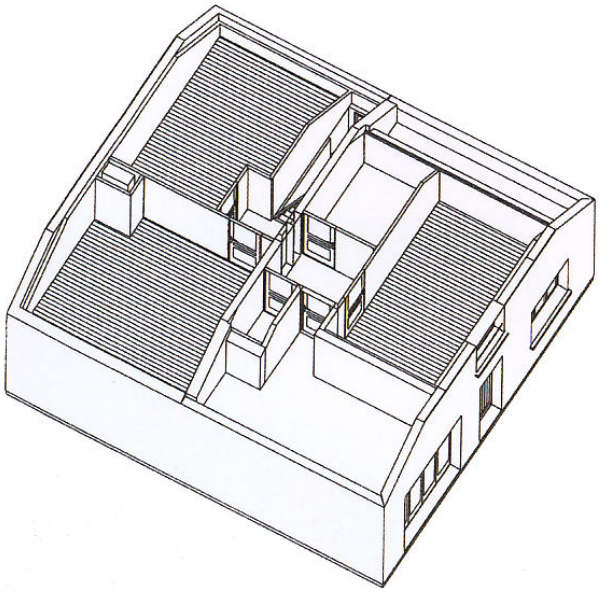
Plan d'implantation.

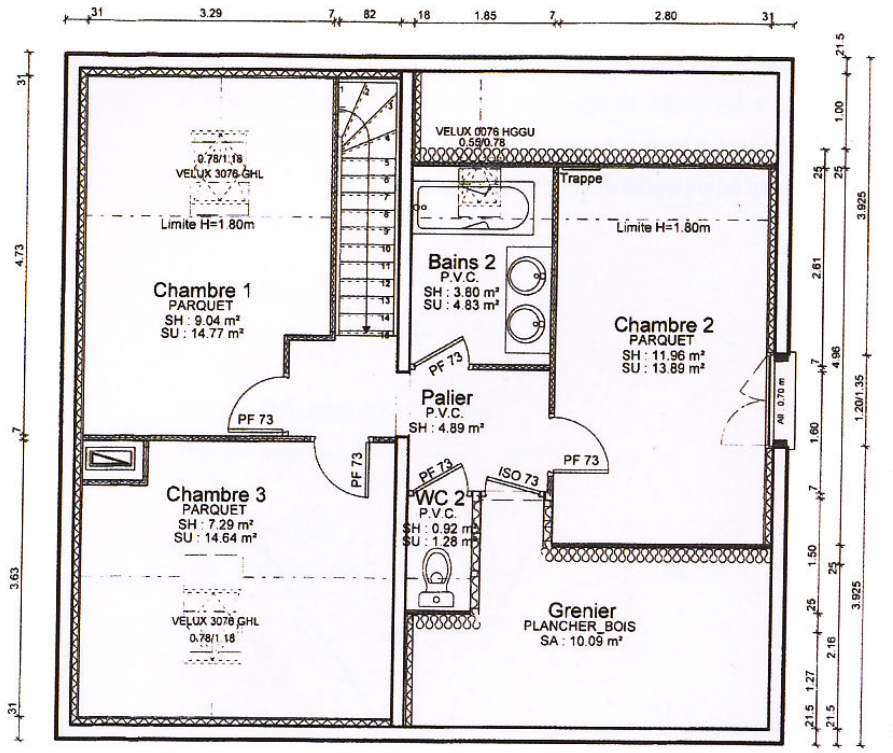
Façade avant rénovation.





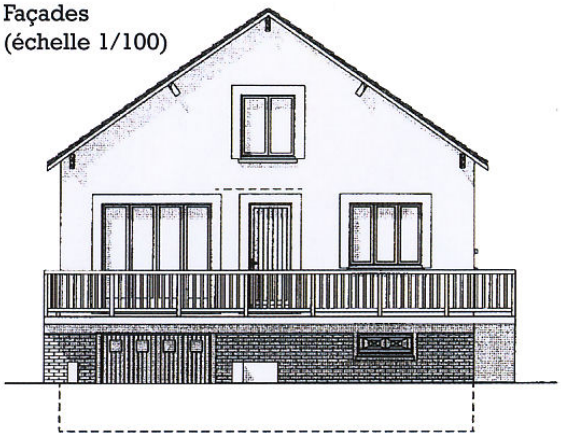

Rez-de-chaussée (échelle 1/50).



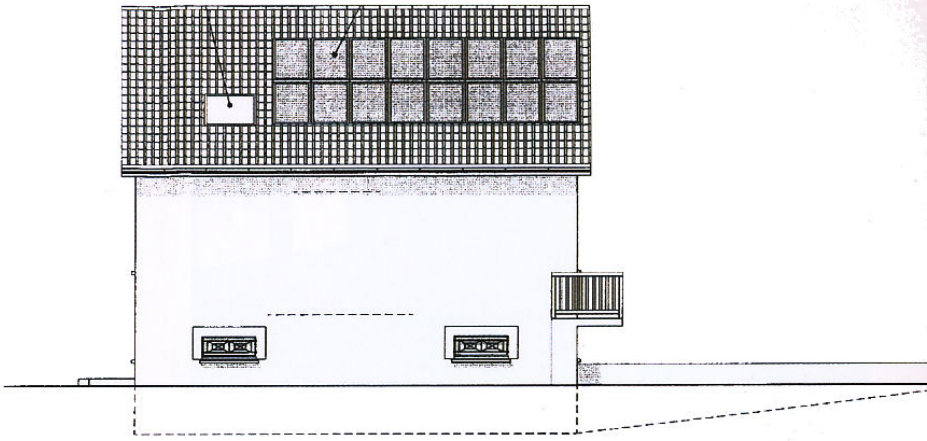



Combles et étage (échelle 1/50).

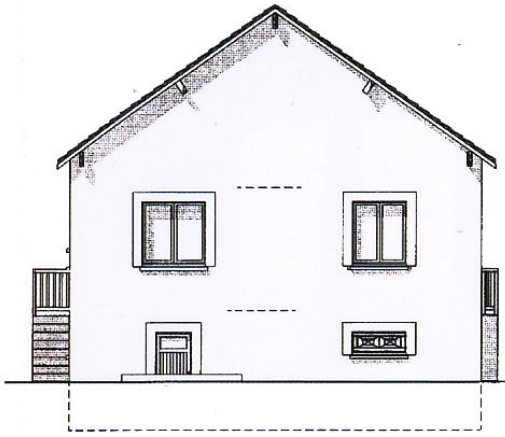
Façades
(échelle 1/100)



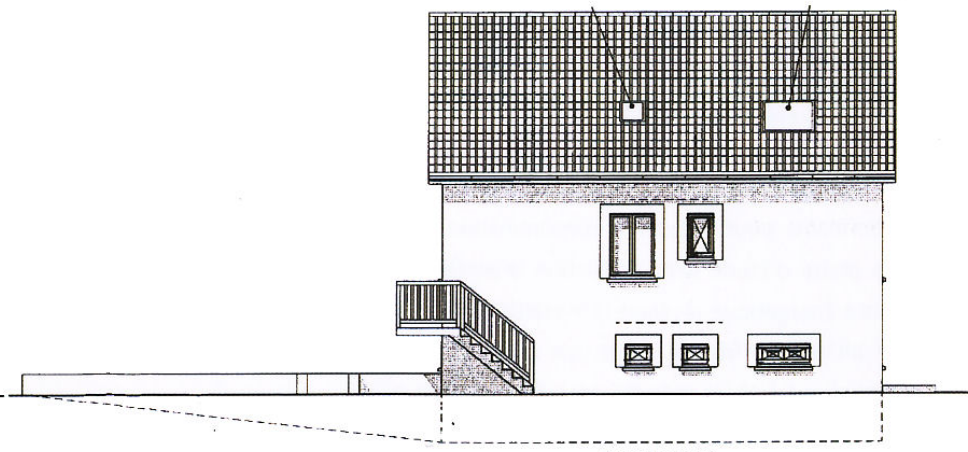
Pignon principal



Façade gauche



Pignon arrière



Façade droite

Avant rénovation.

Après rénovation.

La cuisine avant rénovation.

Le salon avant rénovation.

## ... à un projet basse énergie

Les maîtres d'ouvrage, CTVL souhaitaient utiliser des matériaux performants pour réduire la consommation énergétique. Après une phase d'étude avec réalisation d'un Diagnostic de performance énergétique révélant une consommation de 572 Khw/m² par an, ils ont réalisé aussi une simulation PROMODUL qui permet avec les données d'entrée de l'étude d'obtenir :

- les résultats conventionnels pour l'état actuel
- un récapitulatif des travaux
- les résultats conventionnels pour l'état projeté
- l'estimation du coût des travaux
- la personnalisation des consommations et des dépenses

PROMODUL est une association regroupant les industriels et intervenant dans le domaine de l'énergie du bâtiment. Il dispose d'une base de 4500 produits référencés.

Cette étude recoupait sensiblement le rapport de DPE. À partir de ces résultats, les travaux à effectuer ont été bien définis ainsi que les devis.

Plusieurs phases de travaux ont eu lieu pour l'extérieur et l'intérieur.

Les travaux à l'extérieur étaient relativement aisés, notamment l'isolation des murs, bien que les contraintes de mise en œuvre ont un peu allourdi le chantier. Pour l'intérieur, il fallait déblayer les combles, enlever la précédente isolation, démonter et évacuer les installations sanitaires et de chauffage existants.

L'ancienne salle de bain.

# Amélioration de l'enveloppe

## Composition des parois rénovées

**Murs**

Pour limiter les ponts thermiques, l'entreprise a choisi une isollation par l'extérieur avec un cellomur ultra de 14 cm et un enduit Agglo ciment. La mise en œuvre n'a pas été simple car il fallait prendre un certain nombre de précautions. Les murs doivent être secs et par conséquent protégés des intempéries. D'autre part le PSE graphité utilisé craint les rayons UV ! L'échaffaudage a été couvert d'un plastique jusqu'à la mise en œuvre de l'enduit de façade. De plus, la jonction entre les murs

Mise en place de l'enduit.

Mur isolé avec le PSE.

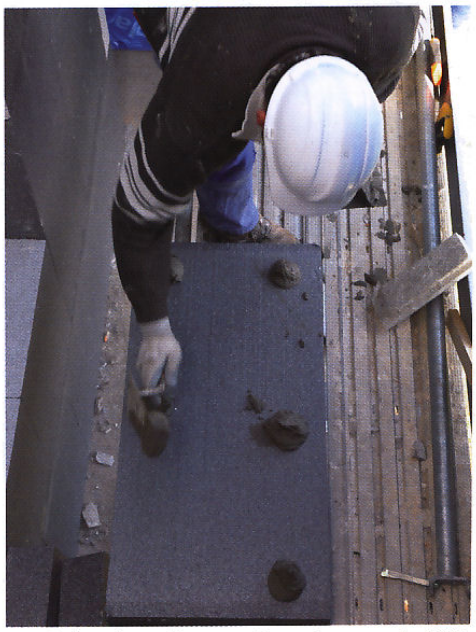
et les fenêtres ou portes nécessitait un travail soigné pour éviter les effets thermiques négatifs. La pose du cellomur s'effectue par des plots de mortier-colle renforcés par des fixations chevillées. Cette isolation donne des résultats supérieurs à la norme indiquée par la RT2005 ou la RT2012 estimée. Les plaques de cellomur ont été recouvertes ensuite d'un enduit hydraulique primaire avec interposition d'un treillis et, en finitions une couche mince. Le choix d'un enduit clair permet aussi de réfléchir les rayonnements solaires et de limiter les chocs thermiques.

Les points importants à vérifier à chaque étape du chantier étaient :

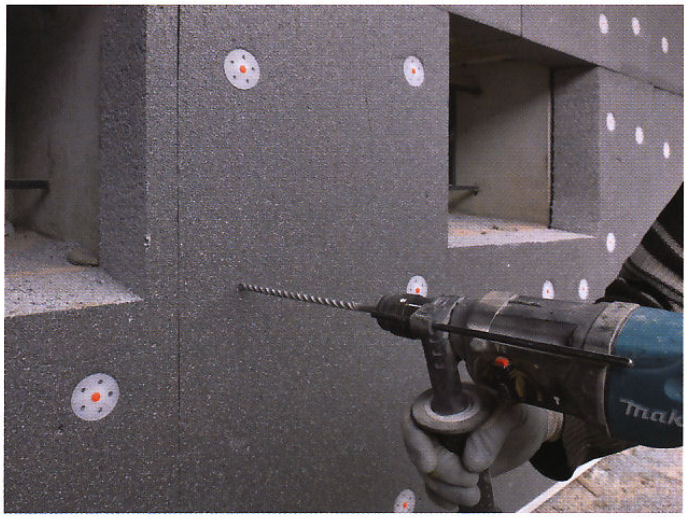
- les liaisons d'angles rentrants et sortants
- les retours et les encadrements

En effet, il est impératif qu'il y ait une continuité de l'isolation. Pour cela, il fallait tronçonner les encadrements de baies béton en saillie pour permettre une bonne pose des plaques et par conséquent la réalisation d'habillages en aluminium pour les appuis sur mesure. L'ancien appui de la fenêtre devait être recouvert par l'isolation. Les emplacements des anciennes grilles de

Protection des murs lors de l'isolation.



Point de colle pour les plaques de PSE.



Détails de mise en oeuvre.

ventilation ont été rebouchés, car ils auraient créé un vide derrière l'isolation. La reprise et le raccordement des évacuations d'eau pluviale ont été réalisées. Cependant, le balcon laisse toujours un pont thermique. À moins de le détruire, il n'était pas possible de le modifier.

La légéreté des panneaux facilite le travail et cette mise en œuvre, simple, permet d'accroître la rapidité de la pose par rapport à un système sur ossature. Le résultat était très satisfaisant pour les maîtres d'ouvrage. De plus, cette isolation par l'extérieur a permis de garder la surface habitable. Une isolation par l'intérieur aurait réduit la surface habitable de près de 4 m² avec des performances thermiques moindres.

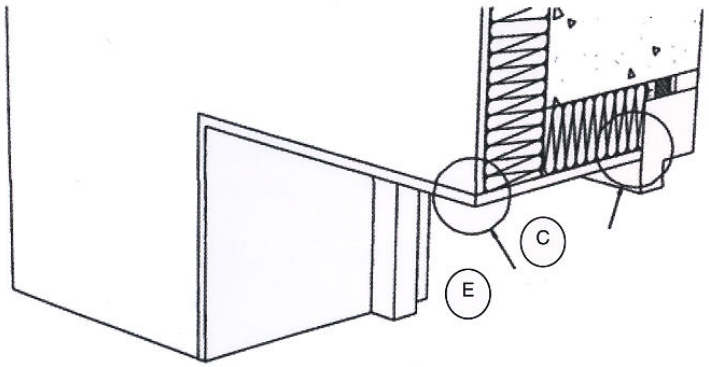
| | |
|---|---|
| Cellomur ultra de 14 cm U W/m².K | 0,22 |
| R du doublage m². k/W | 4,54 |
| U norme avec la RT2012 estimation | 0,26 |
| R du doublage avec la norme RT2012 | 3,84 |

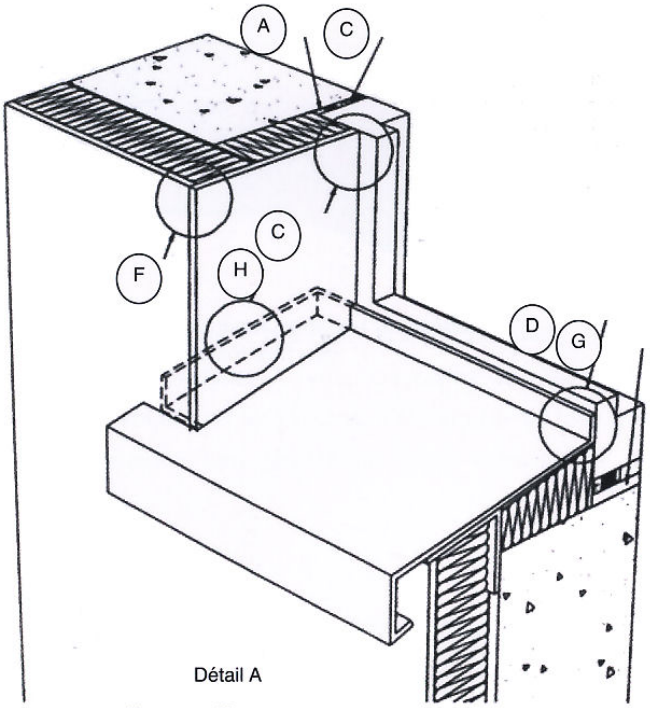
**Sols**

Il était nécessaire d'isoler la dalle de sous-sol qui n'avait aucune isolation au départ. Il a été installé 10 cm de Roofmate TG-X sur hourdis béton avec un plancher bois. Ce qui permet d'avoir un R=3,45.

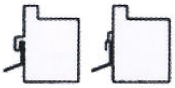
Détails de mise en œuvre.

Menuiserie posée en tableau au nu extérieur du gros œuvre.




Détail A



A : étanchéité à l'eau et à l'air
B : calage
C : étanchéité à l'eau selon menuiserie et habillage ( clippage, mastic...)
D : fixation étanche de la bavette rapportée après réalisation de l'étanchéité à l'eau ( clippage, recouvrement : détail A)
E : isolation thermique
F : étanchéité à l'eau selon technique
G : rejingot maçonné ou rapporté ou pièce d'appui
H : relevé de la bavette à prévoir soit derrière le revêtement soit derrière l'isolant selon technique

## Toiture et combles

Il a fallu déblayer les combles, enlever l'isolation ancienne et mettre les murs à nu. Les chassis du toit ont été changés.

L'isolation des combles s'est effectuée par la pose de deux couches de laine minérale GR32 de 120 mm avec un pare vapeur. L'isolation totale avec une épaisseur de 24 cm donne un R=7,69 pour l'isolation de la toiture et les murs des combles avec une isolation de 12 cm en laine minérale ont un R=3.84.

La restructuration de l'escalier s'imposait, ainsi que la démolition des cloisons intérieures et la pose d'un escalier en bois exotique.

Pour l'aménagement des combles, démolition du conduit de cheminée et pose de 3 fenêtres de toit VELUX® (deux de 114 x 118 et une de 55 x 78) avec 3 stores occultants sur chassis.

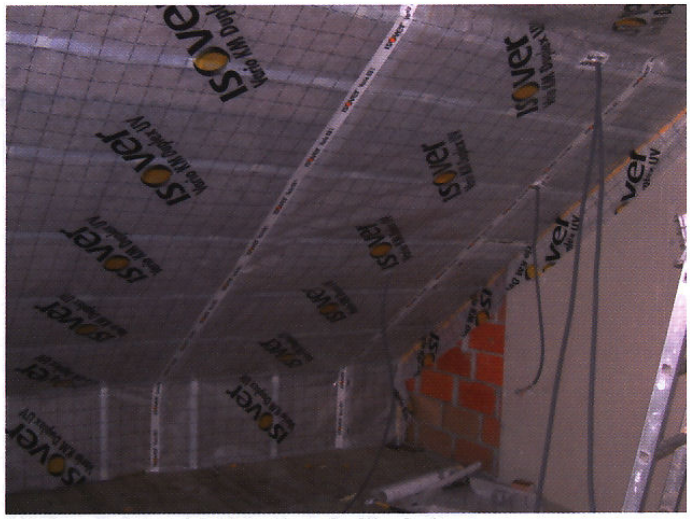
Au même titre que la ventilation, la lumière naturelle est indispensable au confort de vie dans l'habitat. La RT 2005 préconise un référentiel d'éclairage naturel dans les logements, la surface des baies éclairantes doit être équivalente à 1/6ème de la surface habitable (soit environ 17 %).

| | |
|---|---|
| Isolation laine de verre 120 x 2 | 24 cm |
| Membrane vario | |
| Plaque BAT13 stil | 1,9 cm |
| Valeur U W/m²·k | 0,13 |
| **R m². k/W** | **7,69** |

| | |
|---|---|
| Velux Confort Ug W/m².K | 1,2 |
| Facteur solaire g % | 52 |
| **U = W/m²K** | **1,90** |

Ancienne isolation.

Les combles avant travaux.




Bande adhésive à la jonction de l'isolation.

Combles terminés.

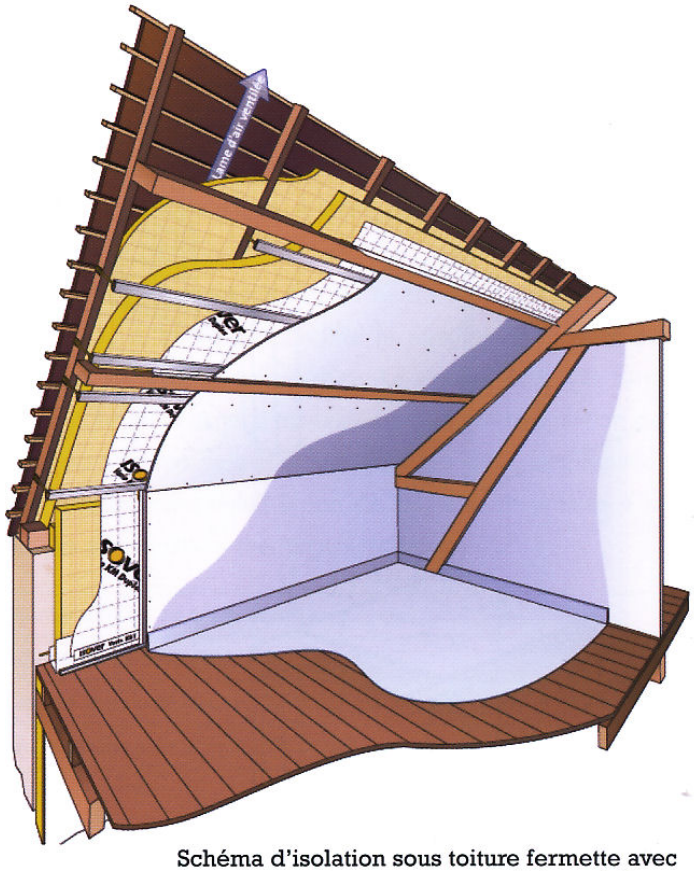
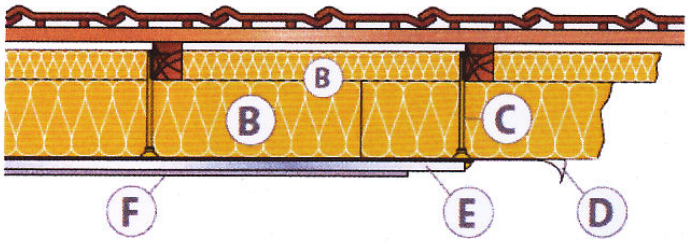



Schéma d'isolation sous toiture fermette avec des chevrons supérieurs à 8 cm.




A : Écran de sous toiture HPV
B : Isolant Isoconfort 32
C : Suspente intégra 2
D : Membrane Vario Duplex
E : Fourrure Optima 240
F : Plaque de plâtre

Isolation en deux couches (120 mm x 2) sous un écran de sous toiture HPV (sans lame d'air) at avec une membrane d'étanchéité à l'air. Système Intégra Vario d'Isover.

**Fenêtres**

L'ensemble des fenêtres, portes et chassis de toit ont été changés pour des matériaux beaucoup plus performants. Les menuiseries extérieures en bois étaient auparavant uniquement en simple vitrage et sans volet pour le RDC. Le remplacement de ces menuiseries par du double vitrage avec faible émission représente une économie subsantielle car la surface vitrée représente 24% des déperditions thermiques pour une surface de 19,5 $m^2$.

La pose des volets roulants a nécessité une adaptation du matériel sur la menuiserie rénovée. Ce qui explique les quelques points thermiques.

| | |
|---|---|
| Baie vitrée Thyssent Ug $W/m^2.K$ | 1,6 |
| Facteur solaire g % | 52 |
| Fenêtre Thyssen Ug $W/m^2.K$ | 1,4 |
| Coffre de volets roulands U $W/m^2.K$ | 2,15 |
| Uf $W/m^2.K$ | 1,90 |

## Escalier

L'escalier a été changé, le précédent était trop dégradé et la cage a été entièrement refaite. Du fait d'un espace exigu, une isolation mince a été choisie sur les cloisons. Il été difficile de mettre une isolation normale sans réduire de façon drastique la cage d'escalier.

Vue sur les nouvelles menuiseries extérieures.

Anciennes menuiseries extérieures.

Nouvel escalier.

L'escalier avant rénovation.

## Électricité

L'électricité à été mise aux nouvelles normes. Pour le sous-sol et le rez-de-chaussée, une mise en place traditionnelle sous cache PVC a été installée. Pour les combles, un système par pieuvre a été placé au dessus de l'isolation conformément aux normes.

## Techniques spéciales

### Chauffage et eau chaude sanitaire

L'ancienne chaudière à gaz a été remplacée par une pompe à chaleur. Le matériel choisi, du fabricant DAIKIN de 11kw, est un système extérieur qui est garanti pour des températures jusqu'à -20°.

### Ventilation

La maison ne possédait aucune ventilation si ce n'est une ventilation manuelle dans les pièces principales par un système de grilles qui a fallu reboucher. La réglementation en France oblige à une ventilation générale et permanente. Elle doit permettre de balayer la totalité du logement avec des entrées d'air installées dans les pièces principales et des sorties placées dans les pièces de services. Les débits minimaux pour chaque pièce sont réglementés depuis l'arrêté du 24 mars 1982.

Avec une VMC (ventilation mécanique controlée) simple flux, les débits mininaux à respecter sont les suivants :

**Débits extraits exprimés en m³/h**

| Nbre de pièces principales | Débit total minimun en m³/h | Débit minimal en cuisine en m³/h |
|---|---|---|
| 1 | 35 | 20 |
| 2 | 60 | 30 |
| 3 | 75 | 45 |
| 4 | 90 | 45 |
| 5 | 105 | 45 |
| 6 | 120 | 45 |
| Suivante | 135 | 45 |

Avec une ventilation hygroréglable, les débits de ventilation minimun sont encore abaissés :

| Nombre de pièces principales | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Débit total minimun en m³/h | 10 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |

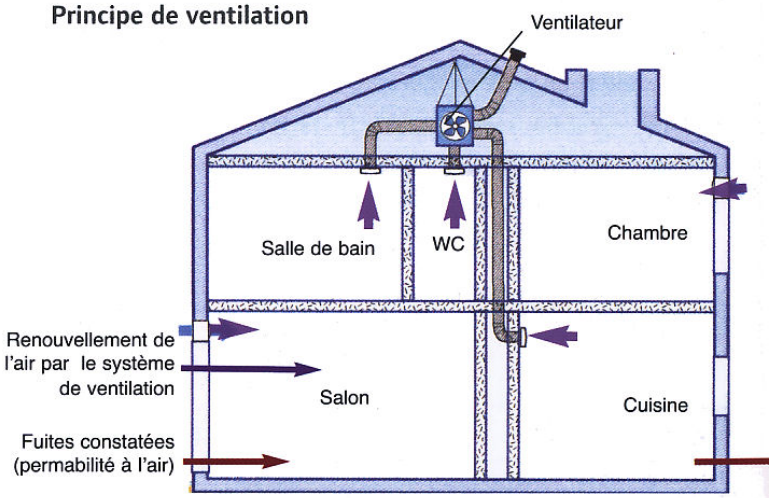
Ci dessous les débits minimaux pour chaque pièce, quel que soit le type de ventilation, en fonction du nombre de pièces de l'habitation.

**Débits extraits exprimés en m³/h**

| Nbre de pièces principales | Cuisine | Salle de bain | Autre salle d'eau | WC unique | WC multiple |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 75 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 2 | 90 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 3 | 105 | 30 | 15 | 15 | 15 |
| 4 | 120 | 30 | 15 | 30 | 15 |
| 5 et plus | 135 | 30 | 15 | 30 | 15 |

Le sytème Hygro Bahia d'ALDES, par son faible encombrement, permettant 6 piquages d'extraction, et surtout une consommation très faible, 15 W Th-C et 0,25W par m³/h extrait, a été installé dans le grenier.

**Principe de ventilation**



VMC Hygro Bahia d'Aldes.

Pompe à chaleur et ballon d'ECS.

## Étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air est une vérification indispensable lors d'une rénovation. Il permet d'ajuster des manques dans la mise en œuvre ou sur des maréria ux. La bonne étanchéité à l'air permet de limiter les infiltrations d'air parasites et surtout d'éviter une surconsommation d'énergie. Ainsi un écart de perméabilité de 0,1 $m^3/h/m^2$ peut faire varier de 3kWhep/$m^2$ le Cep d'un batiment. (source effinegie). Le test a été effectué avec succès. avec une permabilité de 0,8 $m^3$ /h/$m^2$.

### Norme française d'étanchéité à l'air

| Types de bâtiment | Perméabilité de référence I4 ( en $m^3/(h.m^2)$) | Perméabilité par défaut I4 (en $m^3/(h.m^2)$* |
|---|---|---|
| Logement individuel | 0,8 | 1,3 |
| Logement collectif, bureaux, hôtels, restauration, enseignement, petits commerces et établissements sanitaires | 1,2 | 1,7 |
| Autres types de construction | 2,5 | 3,0 |

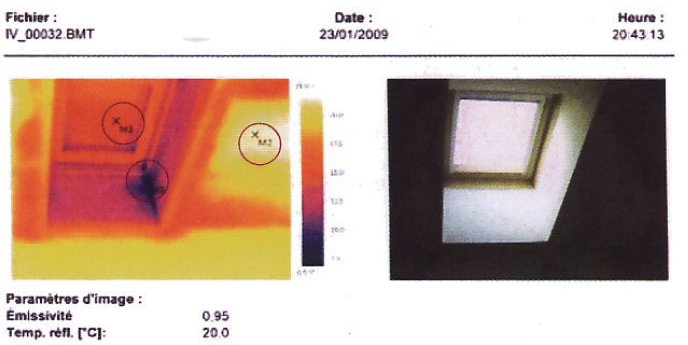
* Valeur réglementaire prise pour le calcul si absence de test in situ

## Ponts thermiques

Ce bilan a été réalisé dès la fin des travaux, il a permis de déceler quelques points de déperdition, peu importants, mais qui sont révelateurs des difficultés de la mise en œuvre d'une étanchéité à l'air. Notamment sur les raccords de cloisons verticales avec les rampants, les angles de cloison, les raccords de cloisons sous la plinthe, et des points froids sous les menuiseries par exemple sous les coffres des volets roulants. Les points de déperdition sont principalement situés dans les combles aménagées. Une meilleure mise en œuvre des joints de raccord aurait permis d'éviter ses points.

Les thermogrammes présentent les différences de couleurs et l'intensité des ponts thermiques. Les couleurs froides (vert et bleu) révèlent une bonne isolation lorsqu'elles sont à l'extérieur. La chaleur intérieure ne traverse pas les parois. Au contraire, à l'intérieur, elles révèlent un manque d'isolation ou un point faible, car le froid rentre dans la maison. Il y a un courant d'air !

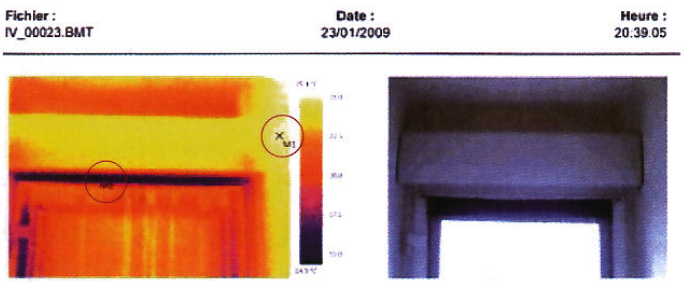
### Thermogramme de la fenêtre de toit




### Repère d'image

| Objets de mesure | Temp.(C°) | Émission | Temps.refl.(C°) | Remarque |
|---|---|---|---|---|
| Point de mesure 1 | 25,1 | 0,95 | 20.0 | Point le plus froid |
| Point de mesure 2 | 14,6 | 0,95 | 20.0 | Point le plus chaud |
| Point de mesure 3 | 15.0 | 0,95 | 20.0 | Vitrage intérieur |

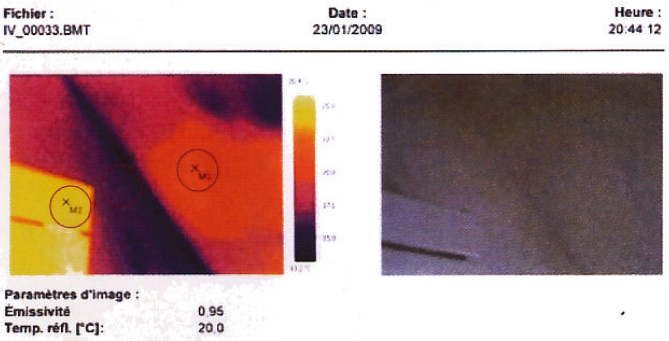
## Thermogramme de la porte d'entrée




### Repère d'image

| Objets de mesure | Temp.(C°) | Émission | Temps.refl.(C°) | Remarque |
|---|---|---|---|---|
| Point de mesure 1 | 25,1 | 0,95 | 20.0 | Point chaud sur cloison |
| Point de mesure 2 | 14,6 | 0,95 | 20.0 | Point froid sous coffre volet rouland |

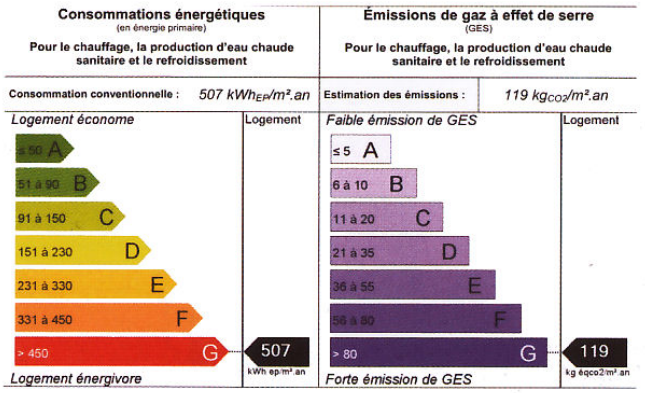
## Thermogramme dans les combles à la jonction des murs




### Repère d'image

| Objets de mesure | Temp.(C°) | Émission | Temps.refl.(C°) | Remarque |
|---|---|---|---|---|
| Point de mesure 1 | 20,5 | 0,95 | 20.0 | Ba 13 |
| Point de mesure 2 | 24,9 | 0,95 | 20.0 | Coffre volet rouland |
| Point de mesure 3 | 13,7 | 0,95 | 20.0 | Point froid raccord cloison |

## Étiquette thermique de la maison de Baule avant rénovation




Elle révèle une consommation de plus de 2700 € par an (valeur calculée sur le prix moyen des énergies au 15/08/2006). En France, sur les 31,4 millions de logements recensés en 2007 24% ont une étiquette énergétique inférieure à F et 46% inférieure à E. Le chemin de la rénovation est donc primordial pour réduire la consommation énergétique.

## Panneaux solaires

Le système installé de GB solaire ROOF tech est composé de modules photovoltaïque Shunda. C'est un système intégré, composé de plaques poluéthylène et d'ancres spéciales en aluminium. Couplé avec un onduleur, la production d'électricité a été évaluée (voir le tableau ci-dessous). Cette production autonome d'électricité a permis d'éviter l'émission de 5 173 équivalent $CO_2$ (kg) par an.

**Tableau de production électrique des panneaux solaires sur une année**

| Mois | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Production DC en kWh du champ | 99 | 144 | 247 | 315 | 365 | 370 | 361 | 388 | 292 | 205 | 120 | 83 |
| Résultat de production | 90 | 135 | 233 | 297 | 344 | 350 | 367 | 340 | 276 | 193 | 111 | 76 |

Toiture avec les panneaux solaires

## Travaux extérieurs

La réfection complète du seuil du portail et la réparation du portail de rue ont été réalisées ainsi que l'habillage en aluminium de la périphérie de la porte d'entrée. Le pignon arrière a nécessité une reprise de panne en saillie ainsi que le remplacement d'un chevron de rive sur ce même pignon.

Façade arrière.

# Expériences à partager

Pour les occupants, ce n'est plus la même maison à l'intérieur, que ce soit pour la lumière intérieure, le renouvellement de l'air et bien sûr pour le confort thermique. Ils ont passé un premier hiver. Les dépenses de chauffage sont presque inexistantes par rapport à la situation précédente.

Pour l'entreprise CTVL, cette rénovation était un enjeu important : démontrer qu'il est possible et rentable de rénover intégralement ce type de maison dite "épave thermique". De plus, ce projet permettait à l'ensemble du Groupe Fousse Constructions d'avoir un chantier témoin pour tester ses techniques et ses matériaux de constructions. Elle était aussi un pari pour atteindre des performances énergétiques correspondants à la prochaine RT 2012. Car une rénovation thermique n'est pas simple à mettre en œuvre.

Beaucoup de compagnons ou ouvriers du bâtiment ont l'habitude de travailler au cm, alors que l'impératif d'une étanchéité à l'air pour supprimer les ponts thermiques et les courants d'air est de travailler au mm. Aucune erreur n'est possible, ce n'est pas après avoir posé le BAT13 ou l'enduit que l'on peut rectifier. L'importance de travailler avec les normes et "dans les règles de

l'art" devient une nécessité, encore plus aujourd'hui avec les nouvelles normes thermiques. Les ponts thermiques sont comme une bouteille remplie d'eau avec de petits trous (ou des gros). Si l'étanchéité est mauvaise, il ne reste plus d'eau. Cette méthaphore permet de comprendre que le traitement des ouvrants, des planchers, des murs de refend et des jonctions ne doit pas se faire à la légère.

L'isolation par l'extérieur permet d'éviter la plupart des ponts thermiques. De plus, le mur protégé de la pluie, du gel et des écarts de température vivra beaucoup mieux dans le temps. Un des atouts important de l'ITE est aussi le confort intérieur car cette technique améliore la capacité d'accumulation de la chaleur des murs et par conséquent leur inertie.

## Budget

L'ensemble des travaux de rénovation ont permis de passer d'une consommation de 572 KWhep/m² a 92,7 kWhep/m² par an, c'est donc une transformation totale du fonctionnement énergétique. Les travaux d'isolation ont été très importants et si le coût est relativement élevé, il faut différencier la rénovation thermique de la rénovation de la maison (aménagement et mise aux normes). Le tableau suivant donne par grand poste le coût des travaux. En regard des investissements réalisés, les maîtres d'ouvrage auront un retour sur investissement pour la rénovation thermique inférieur à 15 ans. Les réductions d'impôt non pas été incluses dans le calcul, en 2009 les réduction d'impôt ou crédit-d'impôt auraient permis de diminuer le coût de près de 40% et donc de réduire le temps de retour sur investissement.

| Postes travaux | Coût HT Main d'œuvre et fournitures |
|---|---|
| Agrandissement et aménagement des combles | 11755 € |
| Mise aux normes électricité | 6366 € |
| Rénovation énergétique | 47469 € |
| Travaux d'embellissement | 21034 € |
| Production d'énergie - Panneaux solaires | 20863 € |
| **Total** | **107487 €** |

**Résultat de la rénovation. Simulation du bureau d'étude Orchydis.**

orchydis

**Simulation**

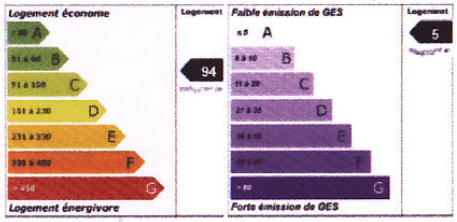
MAISONS CTVL

Etude Thermique : 2142.09 - LD | Votre référence : M. PAVILLON COOPERATIVE à Baule (45) | 29 Mai 2009

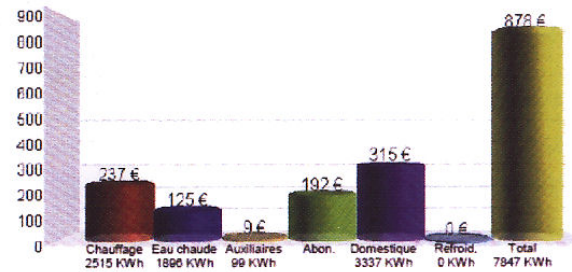
Etude suivie par : Lionel DESBOIS | Version de l'étude : 5 | PC déposé le | Energie : Thermodynamique

| Equipement : | | Caractéristiques du logement : | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Type de chauffage : | RAD. BASSE TEMPERATURE | Type de logement : | T5 | Perméabilité m3/h/m² : | 0.8 |
| Programmation : | Programmation heure fixe avec contrôle en ambiance | Surface habitable : | 107.63 m² | Distance à la mer : | > 10 km |
| Ventilation : | MICRO-WATT ALDES | SHON : | 120.84 m² | Nbre de bains : | 2 |
| Ballon d'eau chaude : | Ballon Thermodynamique Daikin Altherma 300, situé hors volume habitable | Zone climatique : | H1b | Nbre WC : | 2 |
| Pompe à chaleur : | ERHQ011A - 11KW (Chauf. seul) de chez DAIKIN avec appoint de 1 KW | Température du site : | -7°C | Nbre Cellier : | 0 |
| | | Altitude : | 100 m | Nbre niveaux : | 2 |
| | | | | Zone de bruit : | BR1 |

Indication de consommation (1) : Total annuel de 878 € dont : | Abonnement à souscrire : 9 KVA




Ces étiquettes sont données à titre d'informations et ne se substituent pas à la réalisation d'un diagnostic de performance énergétique en fin de travaux.




Notes :
(1) calculée pour une température intérieure de 19°C suivant la méthode Del et pour une utilisation normale de la construction.

1°C de température supplémentaire augmente la consommation de 7 %

La consommation sera supérieure de l'ordre de 30% la première année (séchage de la construction).

Coût de l'énergie mis à jour le: 03/06/2008

Sous réserve de l'obtention d'un titre V : BEC thermodynamique

Résultats de l'étude : Selon la méthode de calcul Th-CE

| | Projet | Réf |
|---|---|---|
| Ubât (W/m²) | 0.375 | 0.476 |
| Cep (kWh e p /m²an) | 92.7 | 172.5 |
| Cep_p (3) | 84 | 250 |
| Tic | 28.46 | 30.98 |

(3) uniquement chauffage, ECS et refroidissement

Consommation totale en énergie primaire par m², hors domestique

**Cep = 92.7**

kWhep/m².shon/an

Votre construction permet une économie sur votre consommation énergétique de

**46.2%**

par rapport au niveau réglementaire fixé par l'arrêté ministériel du 24 mai 2006

AET LORIOT
Ateliers d'études techniques

21 route de Chalon 71380 EPERVANS - Tél : 03 85 42 72 20 Fax : 03 85 42 72 21 Mail contact@aetloriot.fr - SARL au capital de 95000 € - SIREN : 379486822000016 - APE : 742C

Toute représentation, adaptation ou reproduction, même partielle, sans autorisation, serait considérée comme illicite et entraînerait des poursuites judiciaires (loi du 11 mars 1957)

Orchydis V9.2a | Moteur de calcul V1.1.3

Etude réalisée par un bureau d'études thermiques certifié ISO 9001 : 2000 et ISO 14001 : selon le certificat N° FQ 316

Mousse résolique
Cellulose

Brique

# Maison à Evere

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | **Bureau et logements**
Calendrier | **Août 2009 - Fin 2010**
Programme de la rénovation | **Bureau et logements**
Besoins en chauffage avant travaux | **153 kWh/m² par an**
Besoins en chauffage après travaux | **30 kWh/m² par an**
Surface de réf. énergétique | **209,5 m²**
Etanchèité à l'air | **Test à réaliser - Hypothése 1,5 vol/h**
Budget des travaux | **950 €/ m²**

## Particularités du projet

Bureau et logement en location restés accessibles pendant tout le chantier. Sélectionné comme "Bâtiment exemplaire" par Bruxelles Environnement

## Difficultés rencontrées

Étanchéité à l'air : difficulté d'intervenir de manière optimale et de trouver des entreprises qualifiées

## Intervenants

Maître d'ouvrage | **Mr et Mme Hachez - Demoustier**
Conception | **FHW Architectes Madeline Demoustier**
Étude énergétique | **Bureau Ecorce**

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols | **Dalle isolée (mousse résolique)**
**U=0.141 W/m²K - R=7.09 m².K/W**
Murs |
**Façade arrière isolée par l'extérieur (mousse résolique)**
**U=0.128 W/m²K - R=7,81 m².K/W**
**Pignon ouest isolé par l'extérieur (polyst. expansé graphité)**
**U=0,183 W/m²K - R=5,45 m².K/W**
Toitures |
**Toiture plate de l'annexe (cellulose et mousse résolique)**
**U=0.134 w/m².K - R=7,46 m².K/W**

## Châssis et vitrages

**Bois Uf=1,6 W/m².K**
**Triple vitrage Ug=0,7 W/m².K**
Porte extérieure | **Remplacée et isolée en mousse résolique 5 cm - U=0,354 W/m².K**

## Chauffage et eau chaude sanitaire

**Chaudière gaz à condensation**
**Capteurs solaires sous vide (4 m²) appoint par chaudière à condensation (production ECS instantanée)**

## Ventilation

**Système double flux avec récupération de chaleur rendement échangeur 88%**

## Autres

**Récupération eau de pluie citerne 1300 litres**
**Capteurs photovoltaïques 23 m²**

## D'un projet de rénovation...

La maison dont nous allons présenter la rénovation a été acquise en septembre 2006 par M. et Mme Demoustier-Hachez à Evere (Région Bruxelles-Capitale).

Mme Demoustier est architecte et travaille depuis 2005 avec le bureau d'architecture FHW, spécialisé dans la construction et la rénovation durables. En 2006 le projet de la famille de s'installer à Bruxelles allait de paire avec l'idée de créer une antenne bruxelloise du bureau FHW.

Outre le coup de cœur qui les a amenés à conclure cet achat, cette maison rassemblait tous les critères pour répondre à leur programme et pour atteindre leurs objectifs sur le plan écologique et durable à savoir :

- possibilité d'implanter un bureau d'architecture indépendant du logement principal pouvant accueillir 3 à 4 personnes
- situation urbaine, à proximité de lignes de transports en commun et centre ville facilement accessible
- orientation sud de la façade arrière et grand jardin
- services et commerces de proximité accessibles à pied
- accessibilité aisée de l'autoroute de Liège, pour les déplacements professionnels
- maison de maître mitoyenne permettant une subdivision en plusieurs unités qui permettra aux propriétaires de faire évoluer leur bien au fil de leur vie (flexibilité des espaces).

La maison choisie étant trop grande pour leurs besoins immédiats, les propriétaires ont décidé dès l'achat de subdiviser la maison en 3 unités :

- un appartement destiné à la location, ce qui en plus de réduire le volume non occupé (et non chauffé) allait alléger la charge de remboursement de la maison
- l'habitation des maîtres d'ouvrage
- le bureau d'architecture

Dès l'achat, une première phase de rénovation a été planifiée pour aménager l'appartement et équiper l'immeuble d'un chauffage central : le souhait des maîtres d'ouvrage était déjà d'utiliser des matériaux écologiques (cellulose en toiture, châssis et vitrages performants) et des équipements efficaces (chaudières à condensation).

Pour le reste de l'immeuble, les maîtres d'ouvrage souhaitaient d'abord occuper le bien quelques temps de manière à bien connaître les lieux. L'idée de départ était de mettre en œuvre une rénovation légère, pièce par pièce.

Façade arrière avant rénovation.

## ... à un projet très basse énergie

Après avoir occupé la maison deux années, c'est en décembre 2008 que le permis d'urbanisme pour rénover l'habitation principale et le bureau a été introduit. Le projet avait comme objectif un bâtiment basse énergie visant une consommation en chauffage de 60 kWh/m² par an. Cet objectif qui dépassait largement le respect de la réglementation en cours était une évidence pour les maîtres d'ouvrage convaincus de l'importance d'atteindre une bonne performance énergétique du bâtiment après rénovation.

C'est pendant la période de traitement du dossier de demande de permis d'urbanisme que la décision a été prise de proposer le projet à l'appel "bâtiments exemplaires" lancé en 2008 par la Région Bruxelles Capitale. Les modifications à apporter pour atteindre une performance énergétique limitant les besoins en chauffage à 30 kWh/m²par an étaient :

- isolation de la dalle de sol (excavation du sol sur 40 cm !)
- installation d'une ventilation double flux
- installation de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques pour tendre vers un projet zéro émissions de $CO_2$

Deux contraintes non négligeables sont vite apparues pour atteindre cet objectif ambitieux :

- la façade avant n'allait pas pouvoir être isolée (contraintes urbanistiques et patrimoniales) et elle allait nécessiter de renforcer la performance des autres parois. Le challenge qui attendait les maîtres d'ouvrage à cette étape était de trouver le bon compromis entre origine écologique et performances énergétiques des matériaux à mettre en œuvre
- la toiture, isolée dès l'achat, n'avait pu l'être que de 14 cm pour des questions de stabilité. La poutre faîtière avait déjà dû être renforcée pour supporter cette isolation

Plusieurs études thermiques réalisées avec le logiciel PHPP par Mme Demoustier, architecte du projet, aidée du bureau d'étude EcoRce ont permis d'orienter les choix techniques et de confirmer la possibilité d'atteindre le niveau de performance recherché (30 kWh/m².an).

Le permis a été octroyé en avril 2009 et les travaux ont commencé dès le mois d'août. L'idée des maîtres d'ouvrage était de rester dans l'immeuble pendant la rénovation, malgré la nécessité d'une rénovation plus profonde que prévue initialement. Le bureau d'architecte devait lui aussi rester accessible aux 3 collaborateurs pendant la durée du chantier. Courant janvier 2010, les propriétaires ont toutefois décidé de quitter la maison qui ne disposait plus de salle de bain et de cuisine fonctionnelles. Le bureau d'architecture a quant à lui été installé au 1er étage. L'appartement sous toiture (en location) est resté occupé tout au long du chantier.

À l'heure de clôturer cette présentation, le chantier est terminé à 80%, c'est-à-dire :

- l'enveloppe extérieure est totalement terminée
- il ne manque que les grilles de ventilation et la prise d'air extérieure pour mettre en marche la VMC
- la salle de bain et la cuisine sont sur le point d'être installées
- le séjour reste à faire (électricité et plafonnage), ainsi que la chambre, actuellement occupée par le bureau. Pour descendre le bureau, il ne reste qu'un plafond à faire et le revêtement de sol

Toutes ces finitions ne permettent pas de faire actuellement le test d'étanchéité à l'air. La poursuite des travaux dépendra du paiement des primes.

# Descriptif de la rénovation

## Situation de départ

La maison a été construite en 1907 et est de type mitoyenne (2 façades). Un des murs mitoyens dépasse la maison voisine. Les volumes à l'arrière étaient fort découpés et l'ensemble de faible compacité.

La façade arrière est orientée plein sud ce qui permet de bénéficier de nombreux apports solaires.

La façade avant est classée, ce qui a induit de nombreuses discussions pour l'obtention du permis d'urbanisme principalement pour le remplacement de la porte d'entrée. Les châssis de la façade avant ont été remplacés en 2003 : châssis en PVC, double vitrage (pose non étanche à l'air).

À l'intérieur, les moulures des plafonds étaient de qualité, et les pièces principales bénéficient de grandes hauteurs sous plafond.

Avant les travaux, la principale inconnue concernait l'étanchéité à l'air du bâtiment, ce qui a encouragé les maîtres d'ouvrage à opter pour les mesures les plus performantes pour contrer d'éventuels problèmes d'étanchéité à l'air non résolus (triple vitrage et isolation renforcée des parois du volume protégé).

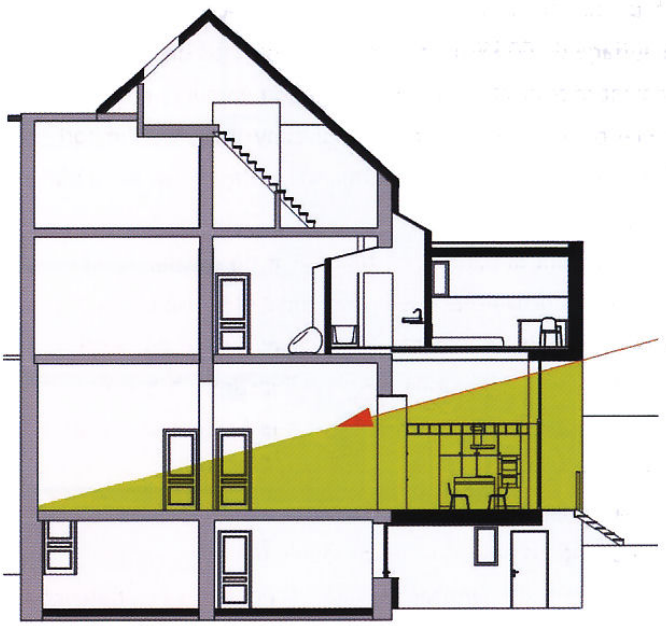
## Conception architecturale

Après avoir vécu deux années dans leur logement, les besoins et envies des maîtres d'ouvrage concernant la rénovation étaient clairs : améliorer le confort thermique du logement (enveloppe et compacité à l'arrière) et ré-aménager les espaces afin :

- de répondre à leurs besoins (nouvelle salle de bain à l'étage, réaménagement de la cuisine, et création d'une chambre supplémentaire)
- de faciliter les habitudes du couple en terme d'écologie du quotidien : compostage, tri des déchets, économie d'eau et d'électricité, utilisation des énergies renouvelables.

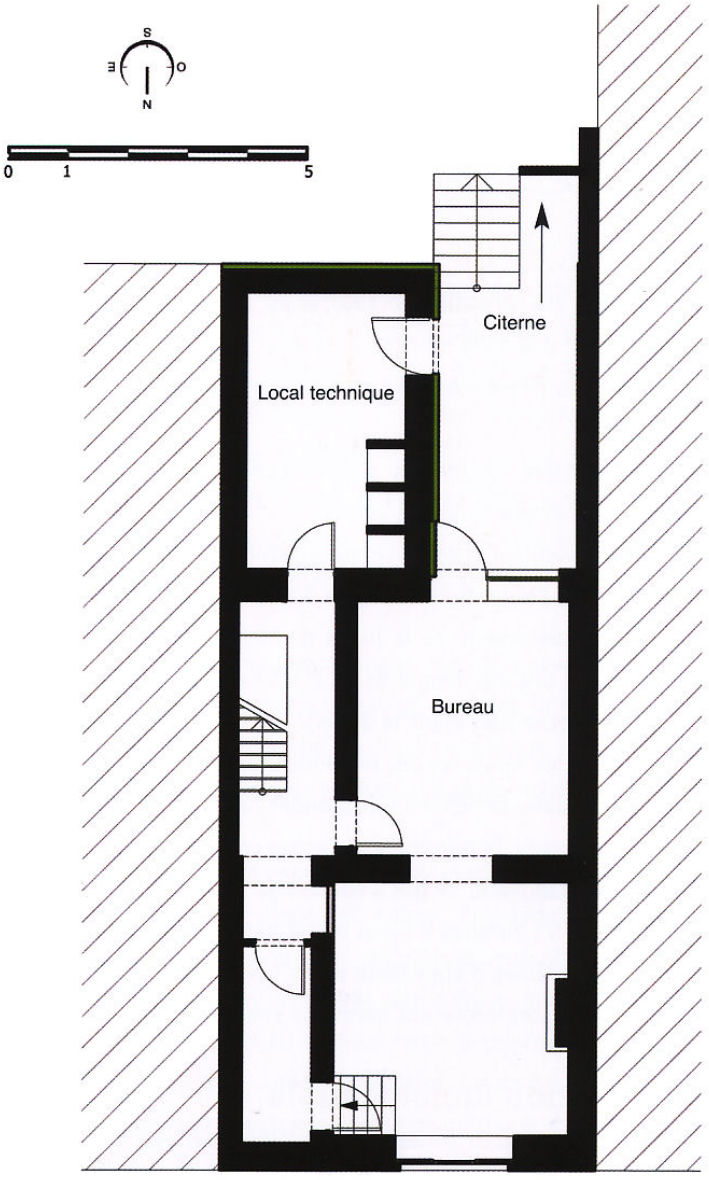
Le volume a été modifié à l'arrière : suppression de l'annexe de l'ancienne cuisine et remplacement de ce volume par un autre, occupant la même surface, sur deux niveaux plutôt qu'un seul. Au rez-de-chaussée, la cuisine et la salle de bain d'origine ont été transformées en une grande cuisine ouverte sur le jardin et à l'étage, une chambre supplémentaire a été créée, pour remplacer une chambre aujourd'hui devenue salle de bain et dressing. Cette modification de volume améliore aussi la compacité du bâtiment, critère important d'un projet ambitieux en matière d'énergie. Un autre aspect important lors de la conception était la mise en perspective du jardin de manière à retrouver un lien entre l'habitation et le jardin. Toutes les pièces de vie ont été placées au sud, côté jardin en conservant des espaces ouverts permettant à la lumière naturelle d'atteindre la façade nord.

Façade sur rue avant rénovation.

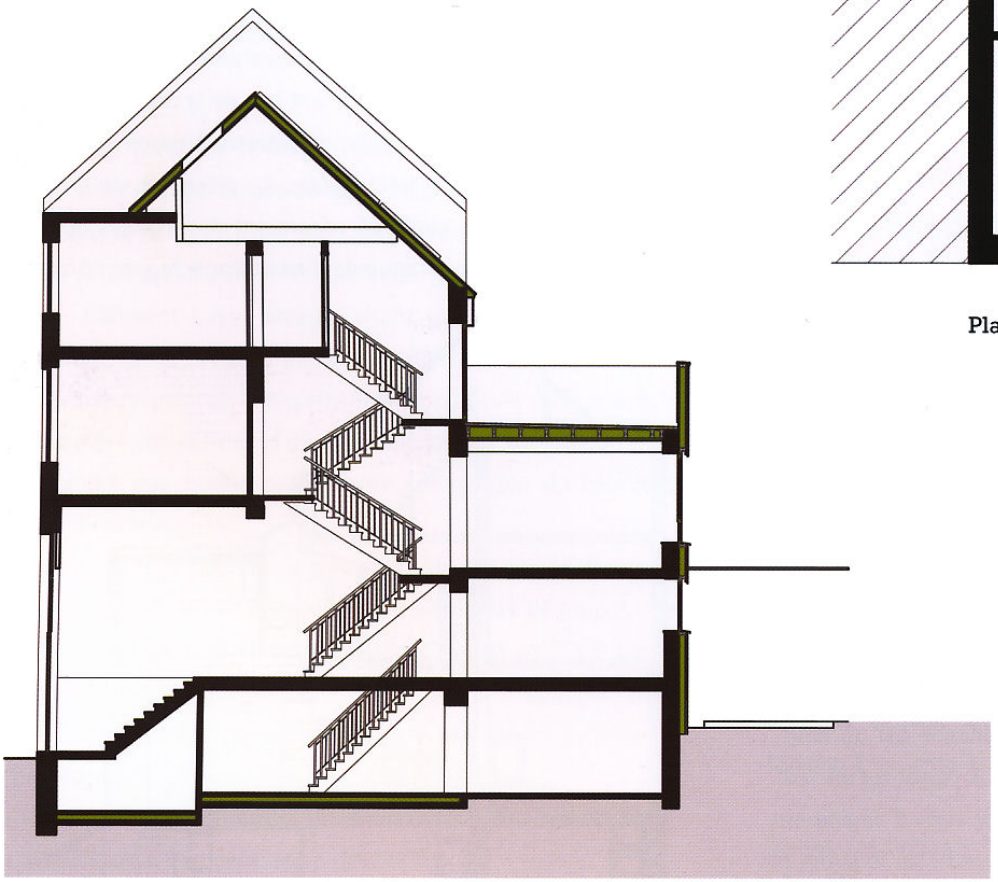


Pénétration de la lumière naturelle jusqu'à la façade nord.

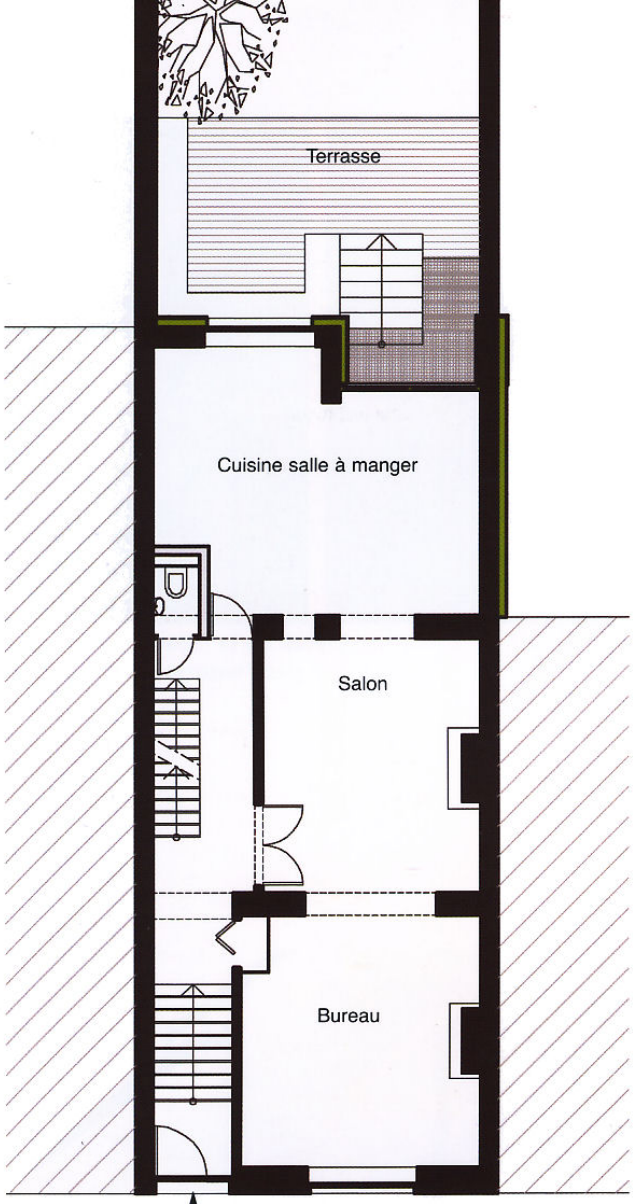
Façade arrière avant rénovation.



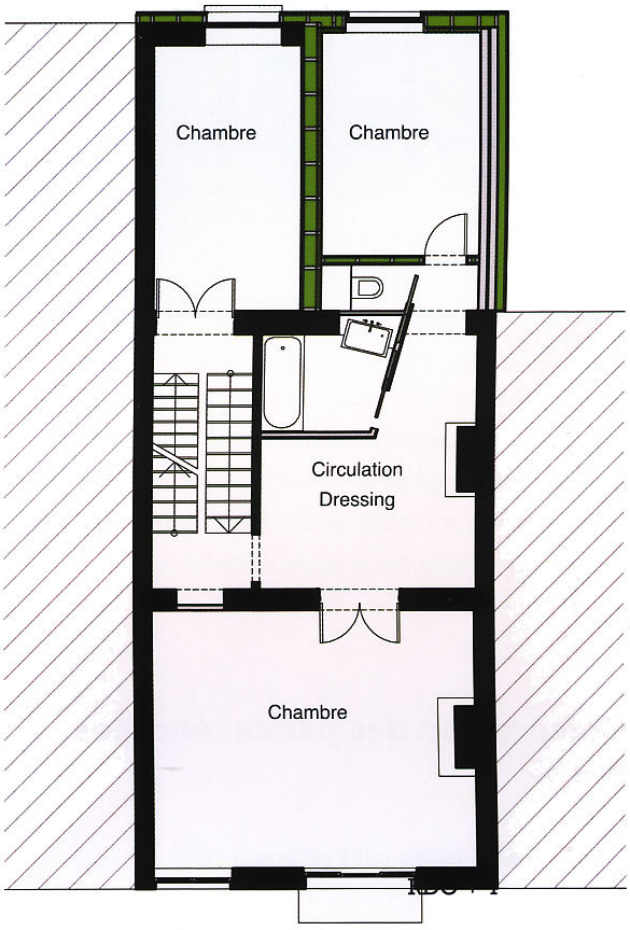

Plan de niveau cuisine caves.



Coupe transversale.




Rez-de-chaussée.




1er étage.

Chambre bureau.

Façade arrière isolée par l'extérieur avec bardage en fibre ciment.

## Amélioration de l'enveloppe

L'objectif est d'aller le plus loin possible dans la performance énergétique dans les limites techniques et/ou financières en utilisant autant que possible des matériaux naturels.
Les principales interventions sur l'enveloppe concernent la façade arrière et les sols. Pour améliorer les performances énergétiques de la façade avant, la solution d'isoler par l'extérieur n'a pas été retenue pour des raisons d'alignement avec les autres façades, de débordement sur l'espace public et de présence de la maison sur la liste d'inventaire du patrimoine architectural.
Une isolation par l'intérieur aurait engendré des risques de ponts thermiques et donc de dégradation des planchers par condensation et aurait imposé de supprimer les moulures du plafond. Il a ont donc été décidé de maintenir la façade avant en l'état et de se concentrer sur l'arrière du bâtiment. Nous détaillons ci-dessous les parois rénovées et reconstruites du projet.

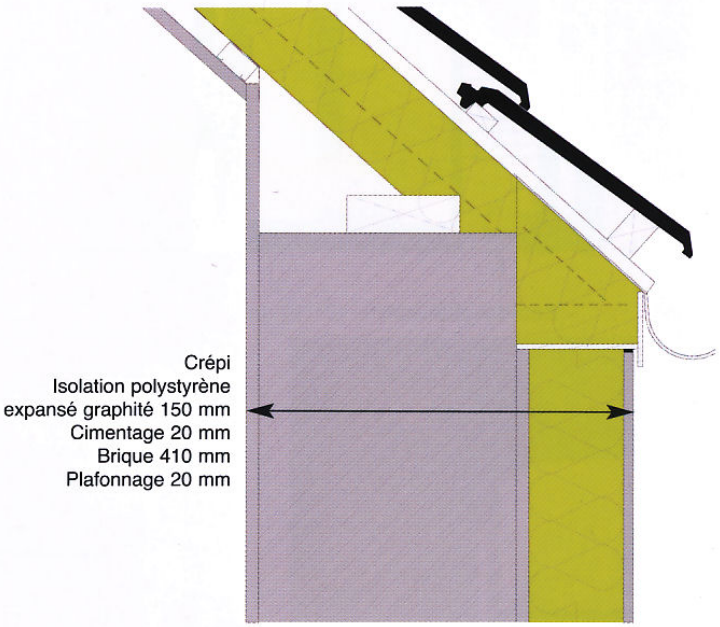
Détail de la façade arrière isolée par l'extérieur (EPS + crépi).

## Composition des parois rénovées

**Murs**

**Façade arrière isolée par l'extérieur (EPS + crépi)**

| | |
|---|---|
| Crépi | 1.5 cm |
| Isolant en polystyrène expansé graphité | 15 cm |
| Cimentage | 2 cm |
| Brique | 41 cm |
| Plafonnage | 2 cm |
| **U = 0.183 W/m²K** | 61,5 cm |

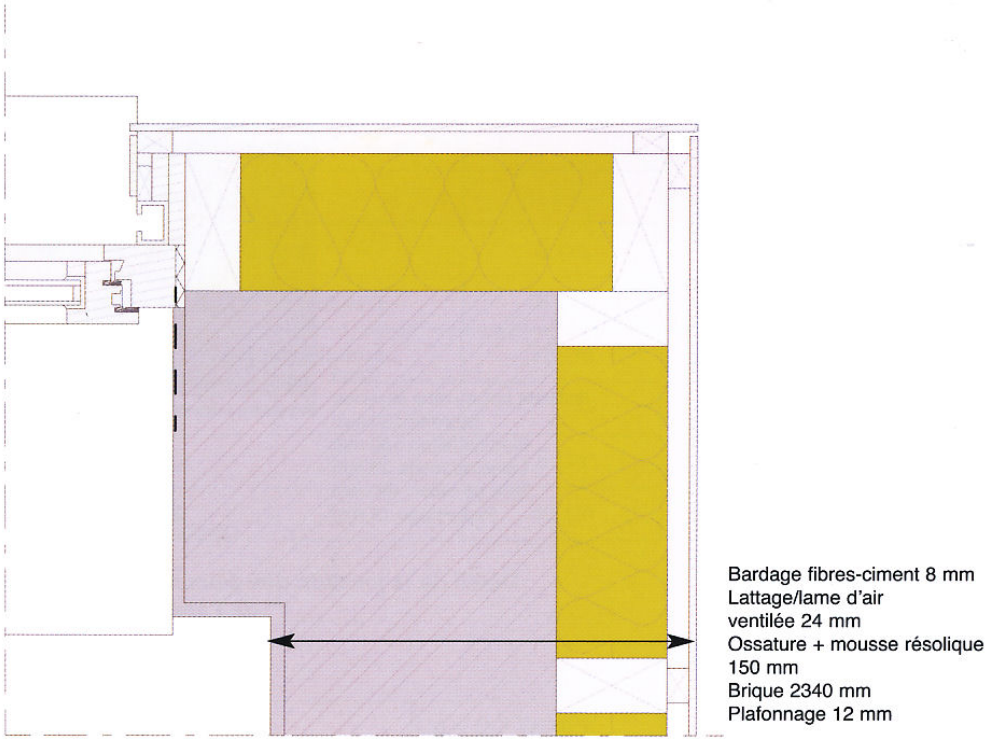



Raccord de la façade arrière isolée par l'extérieur avec la toiture.

**Façade arrière isolée par l'extérieur (mousse résolique + bardage)**

| | |
|---|---|
| Bardage en fibre-ciment | 0;8cm |
| Lame d'air ventilée | 2,4 cm |
| Isolation en mouse résolique | 15 cm |
| Cimentage | 2 cm |
| Brique | 34 cm |
| Plafonnage | 2 cm |
| **U = 0.128 W/m²K** | 55,8 cm |

Détail de l'isolation des murs existants de l'annexe en mousse résolique (rez-de-chaussée).




Détail 3 de la façade isolée par l'extérieur en XPS graphité.

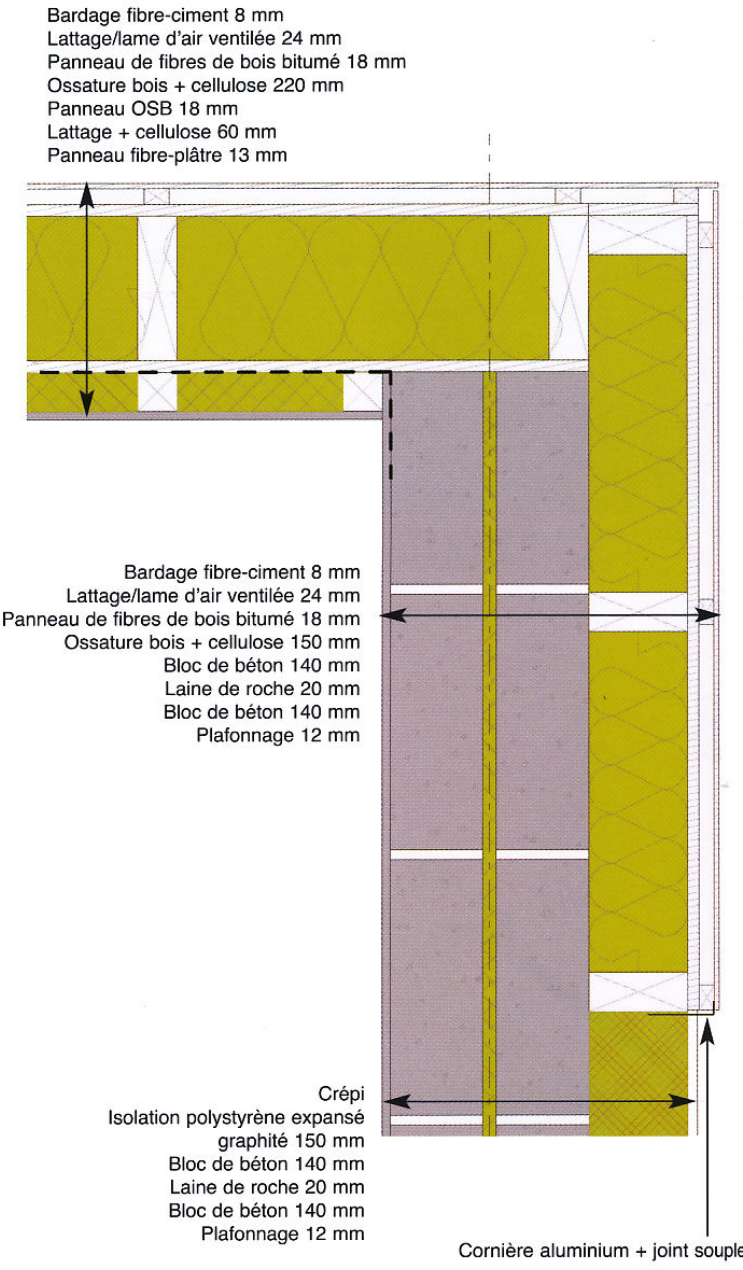
Le mur mitoyen, en contact avec l'extérieur, a été isolé, en accord avec le propriétaire voisin par l'extérieur. L'épaisseur de l'isolation et du bardage étant donc sur la propriété du voisin ; celui-ci a été consulté par les maîtres d'ouvrage dès les premières étapes de conception et s'est montré très ouvert à leur souhait d'isoler de manière performante par l'extérieur. Ce mur mitoyen était en partie existant (annexe au rez-de-chaussée). L'annexe a été réhaussée au 1er étage, par conséquent, le mur mitoyen a ce niveau est neuf. Pour résumer, le mur mitoyen est donc de deux types de composition :

- le mur existant isolé par l'extérieur avec du polystyrène expansé graphité et fini par un enduit
- la réhausse de l'annexe, construite en bloc de béton cellulaire et isolée de deux manières : en cellulose avec bardage fibres-ciment, et en polystyrène expansé avec enduit.

**Mur mitoyen existant isolé par l'extérieur**

| | |
|---|---|
| Crépi | 1.5 cm |
| Isolant en polystyrène graphité | 15 cm |
| Brique | 30 cm |
| Plafonnage | 2 cm |
| **U = 0.183 W/m²K** | 48,5 cm |

Mur mitoyen avant et après rénovation




Détail de la jonction des deux murs reconstruits de l'annexe au 1er étage.

### Sols

**Dalle sur sol (niveau cuisine-caves)**

| | |
|---|---|
| Dalle béton | 12 cm |
| Isolant en mousse résolique | 14 cm |
| Chape de ciment | 6 cm |
| Finition intérieure | 1,5 cm |
| **U = 0.141 W/m²K** | 33,5 cm |

Pour isoler le sol de niveaux cuisine-cave, il fallu retirer la dalle existante et creuser pour récupérer une vingtaine de cm.

### Toiture

La toiture à versant a été isolée lors de l'achat de la maison (aménagement de l'appartement pour mise en location). Celle-ci avait été isolée au maximum (14 cm de laine de cellulose). Il est difficile d'isoler plus, sans compromettre la stabilité de la toiture. La composition de la toiture de l'annexe reconstruite est la suivante :

**Toiture plate accessible**

| | |
|---|---|
| Plancher bois sur plot | |
| Etanchéité en EPDM | |
| Isolant en mousse résolique | 6 cm |
| Calles de pente et isolant en cellulose | 6 cm |
| Gîtage existant et isolant en cellulose | 18 cm |
| Frein vapeur | |
| Isolant en cellulose | 6 cm |
| **U = 0.134 W/m²K** | 36 cm |

Débordement de toiture pour recevoir l'isolation du mur par l'extérieur.

### Menuiseries

**Fenêtres façade arrière**

| | |
|---|---|
| Vitrage (Triple) | **Ug = 0.7 W/m²K** |
| Châssis (bois) | **Uf = 1,6 W/m²K** |

**Porte d'entrée**

| | |
|---|---|
| Isolation mousse résolique | 5 cm |
| **U = 0.354 W/m²K** | |

Entrée avant et après travaux.

## Ponts thermiques

Ces ponts thermiques sont bien entendu liés aux éléments de construction existants et illustrent la limite de la recherche de performance énergétique en rénovation; leur impact réel sur les besoins en chauffage n'ont pas été calculés mais restent très probablement marginaux sur l'ensemble du projet.

Les ponts thermiques suivants sont à signaler :

- pont thermique périphérique de la dalle de sol : raccord entre le mur isolé par l'extérieur et l'isolation du sol sous la chape
- ponts thermiques verticaux le long des murs mitoyens de la façade arrière

## Étanchéité à l'air

De manière à garantir la meilleure étanchéité à l'air, toutes les maçonneries ont été plafonnées et les nouvelles portes et châssis posés dans les règles de l'art : pose de bandes d'étanchéité reprises dans le plafonnage et pose de « seuils suisses » en bas des nouvelles portes : il s'agit d'un profil en aluminium muni d'un joint qui sera écrasé lorsque la porte sera fermée. Cette technique est très performante pour assurer une bonne étanchéité à l'air.

Pour les parties reconstruites, la bonne étanchéité à l'air des éléments à ossature bois a fait l'objet d'un suivi tout particulier tout au long du chantier.

Un test d'étanchéité à l'air sera réalisé ultérieurement lorsque tous les plafonnages auront été réalisés.

La bonne étanchéitié à l'air des châssis est garantie par le pose de bandes d'étanchéité à l'air lors de la pose des châssis. la finition intérieure sera un plafonnage continu.

Les bandes d'étanchéité sont utilisées entre ancienne maçonnerie et nouvelles parois en bois, ainsi que pour assurer l'étanchéité à l'air entre les panneaux OSB.

Toutes les portes extérieures sont munies de seuils "à la suisse" assurant leur parfaite étanchéité à l'air.

## Techniques spéciales

### Chauffage et eau chaude sanitaire

Lors de l'achat de la maison, seuls des convecteurs au gaz assez anciens et un boiler électrique étaient raccordés. Une chaudière de très bonne qualité (HR top, condensation gaz), munie d'une sonde extérieure a été placée. Il s'agit d'une chaudière instantanée pour l'eau chaude et le chauffage. Elle a l'avantage d'être placée dans le volume chauffé et de limiter ainsi les pertes.

### Ventilation

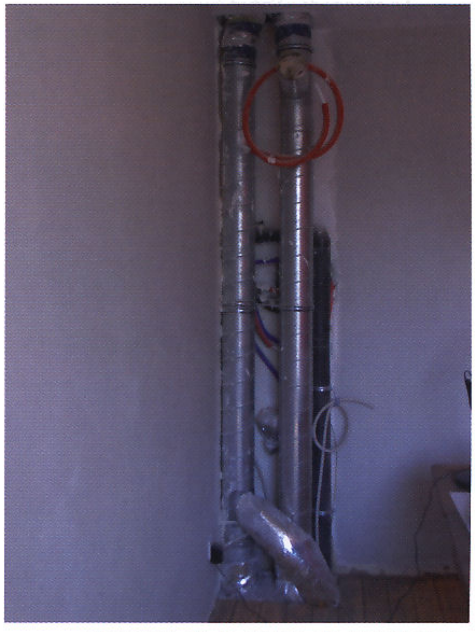
La maison sera équipée d'un système de ventilation mécanique double flux (système D) avec récupération de chaleur. Le groupe de ventilation est placé dans la cave (comprise dans le volume chauffé). L'appartement ne fera pas partie du système de ventilation car il est difficile, vu la distance et la configuration de la maison, de le desservir. Des extractions mécaniques simples ont été installées dans la salle de bain et la cuisine de ce logement.

Pour éloigner la prise d'air du système de ventilation des sorties de gaz brûlés de la chaudière (à ventouse en cave), une sorte de puits canadien a été réalisé déplaçant la prise d'air (ventilation) vers le début du jardin, au bout de la terrasse.

Les avantages d'une ventilation mécanique double flux sont les suivants :

- le système est très maîtrisable. Quelles que soient les conditions climatiques extérieures, il est possible de capter l'air extérieur à un endroit sain, de le filtrer et de contrôler les débits de pulsion et d'extraction
- elle assure un taux de renouvellement d'air adapté aux besoins. Cela permet de diminuer le niveau d'humidité à l'intérieur, d'atténuer la concentration de polluants et de diminuer le risque de refoulement des gaz de combustion
- elle induit une très bonne distribution de l'air
- elle se prête bien à une commande automatique, ce qui facilite la gestion des débits
- elle permet une récupération de la chaleur contenue dans l'air pour préchauffer l'air neuf pulsé
- aucune ouverture dans l'enveloppe extérieure du bâtiment n'est nécessaire, sauf la prise d'air centralisée et le refoulement.

La toiture (plein sud) est équipée de 4 m² de solaires thermiques sous vide et de 23 m² de capteurs photovoltaïques.



Passage de la gaine de ventilation aux étages.

Réduction de la surchauffe grâce au retrait de la baie ( photo prise au soltice d'été à midi).

### Gestion des surchauffes

Pour mesurer l'impact du pourcentage d'ouvertures vitrées sur le bilan thermique et plus principalement sur le risque d'inconfort thermique, quelques variantes ont été étudiées dans le logiciel PHPP. Un léger risque de surchauffe a été calculé (13,7%).

Les maîtres d'ouvrage ont décidé d'intégrer à l'architecture, les moyens suivants pour la protection contre les surchauffes :

- débordant au-dessus de la baie vitrée de la cuisine + végétation grimpante à feuilles caduques
- stores extérieurs commandés électriquement depuis l'intérieur.

Si le besoin s'en fait sentir, une ventilation intensive de nuit sera possible via la boîte aux lettres intégrée à l'ensemble de la porte d'entrée et à la porte-fenêtre d'accès à la toiture-terrasse.

### Se rapprocher du zéro émissions de $CO_2$

Pour se rapprocher de l'objectif zéro émissions de $CO_2$ (pour la partie relative au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire et à la consommation électrique), 23 m² de panneaux photovoltaïques ont été installés sur le versant de la toiture exposé plein Sud.

### Limitation de la consommation d'eau

Une réflexion a été menée par les maîtres d'ouvrage tant au niveau du circuit de distribution qu'à la réduction des besoins en eau :

- le circuit de distribution d'eau a été équipé d'un réducteur de pression juste après le compteur afin de réduire le débit de toute l'installation
- toutes les chasses des toilettes ont été équipées d'un double bouton et permettent un débit de 4 ou 6 litres par chasse. Une de ces chasses sera alimentée par l'eau de la douche
- une des trois toitures plates sera végétalisée, et permettra par ce fait de ralentir le rejet à l'égout de l'eau de pluie. Cet aspect est surtout important lors de grosses pluies
- placement d'une citerne d'eau de pluie de 1300 litres pour alimenter un point d'eau en cave, la machine à laver et les deux toilettes de la maison

La citerne de récupération des eaux de pluie a été placée sous la (future) terrasse.

## Expériences à partager

**Procédure - permis**

La commission de concertation a été très sensible à l'argument d'amélioration de la compacité lors du traitement de la demande de permis d'urbanisme. De manière générale, l'engagement de ce projet de rénovation dans l'appel à projet "Bâtiments exemplaires" a suscité un grand intérêt de la commune.

**Trouver une entreprise performante et accessible**

Lors des appels d'offre, il s'est avéré que les entreprises déjà spécialisées dans ce type de projet étaient indisponibles dans des délais raisonnables et que les entreprises n'ayant pas un savoir-faire dans ce domaine gonflaient largement leurs prix pour se donner les moyens de s'adapter au caractère basse énergie (objectifs en matière d'étanchéité à l'air). L'entreprise choisie n'a pas souhaité prendre le risque de signer un contrat avec obligation de résultat en matière d'étanchéité à l'air mais s'est montrée enthousiaste pour une première expérience ambitieuse et réussie.

**Modifier les habitudes constructives, dur dur !**

Même avec une entreprise dont le responsable est sensible et motivé par une réalisation basse énergie, certaines faiblesses sont apparues dans la formation des ouvriers, principalement en matière d'étanchéité à l'air. Les maîtres d'ouvrage ont dû annoncer un contrôle par thermographie en fin de chantier (et démolition le cas échéant) pour obtenir l'attention des ouvriers dans la réalisation de l'étanchéité à l'air. La présence de Mme Demoustier (le bureau d'architecture étant resté sur place pendant toute la durée des travaux) a été un levier majeur dans l'aboutissement de ce projet ambitieux.

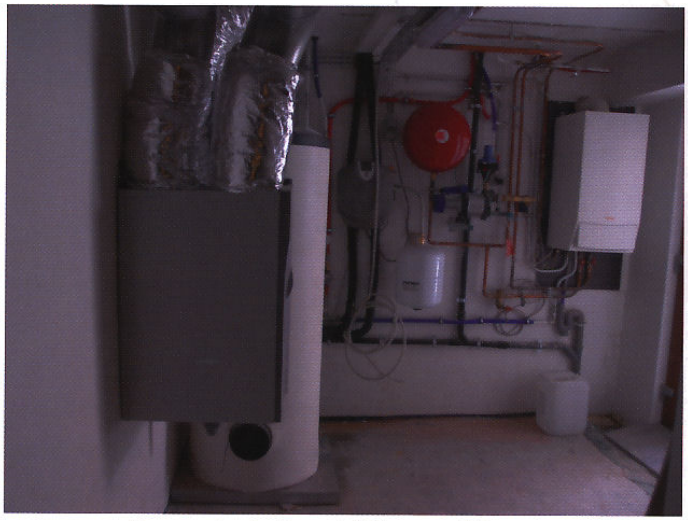
## Budget

Le budget de la rénovation tournera autour de 200 000 €, soit environ 950 €/m².

Les primes qui seront perçues pour le projet sont les suivantes :

- Bâtiments exemplaires : 24 000 €
- Primes basse énergie : 17 850 €
- Prime solaire photovoltaïque : 9 870 €
- Prime solaire thermique : 6 000 €.

Soit un total de 57 720 €.



Espace technique à l'étage cuisine-caves : groupe de ventilation, ballon tampon et chaudière gaz.

Toiture de l'annexe.

Cellulose

Bardage bois

# Maison à Floreffe

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | **Exploitation agricole et habitation**

Calendrier | **Juin 2008 - Fin 2010**

Programme de la rénovation | **Habitation unifamiliale**

Besoins en chauffage avant travaux | **de 200 à 300 kWh/m² par an**

Besoins en chauffage après travaux | **18 kWh/m² par an**

Surface de référence énergétique | **238 m²**

## Particularités du projet

Conception et construction réalisées par les maîtres d'ouvrage

Isolation par l'extérieur avec cadre en ossature bois.

## Difficultés rencontrées

Souhait de conserver le bâti ancien, une partie en mauvais état a engendré d'importants surcoûts

Couverture trop récente pour êre remplacée isolation par l'intérieur

## Intervenants

Maître d'ouvrage | **Mme Dupont - Mr Malevé**

Conception | **Géraldine Dupont et Benoît Malevé**

Etudes énergétique | **Mme Dupont - Mr Malevé**

**Réalisation en auto-construction**

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols |

Chape isolée (PUR projeté sur voussettes en brique)

U=0.29 W/m².K - R= 3.44 m².K/W.

Murs |

Murs isolés par l'extérieur (cellulose)

U=0.19 W/m².K - R= 5.26 m².K/W

Murs isolés par l'intérieur (béton cellulaire)

U=0.32 W/m².K - R= 3,12 m².K/W

Toitures |

Isolation par l' intérieur (cellulose et laine de bois)

U=0.16 W/m².K - R= 6.25 m².K/W

## Châssis

Bois - aluminium

U=0.73 W/m².K

## Vitrages

Triple vitrage

U=0.7 W/m².K

## Chauffage

Chaudière pellets à condensation

## Eau chaude sanitaire

Ballon 600 litres avec chaudière

## Ventilation

Système D double flux avec récupération de chaleur

Rendement échangeur 95%

## D'un projet de rénovation...

C'est en 2005 que les maîtres d'ouvrage, qui habitaient à l'époque à Liège, ont acquis la propriété d'un bâtiment de type petite exploitation agricole appartenant à la famille depuis plusieurs générations. Jusqu'en 1991, les grands-parents développaient leurs activités agricoles dans ce lieu.

Dès l'acquisition du bâtiment, le souhait des maîtres d'ouvrage, très attachés à ce lieu familial, a été de transformer ce bâtiment pour en faire leur lieu de vie principal en respectant et en valorisant le mieux possible ce patrimoine architectural.

## à un projet très basse énergie...

Les activités respectives des maîtres d'ouvrage étant centrées sur les constructions durables, dès les premières réflexions pour la rénovation du bâtiment, l'objectif était d'atteindre un bâtiment à très haute performance énergétique.

Géraldine Dupont, architecte de formation, travaille dans le domaine de l'énergie et du développement durable lié aux bâtiments à l'Université de Liège après avoir réalisé un mémoire sur "l'utilisation rationnelle de l'énergie grâce à l'architecture" et travaillé dans un bureau d'architecture sensible aux questions environnementales dans la région de Liège.

Mr. Malevé est également architecte de formation. Après quelques années de métier, il a suivi une formation en restauration de charpente et travaillé comme ouvrier au sein d'une entreprise d'ossature bois. Il travaille aujourd'hui comme indépendant dans la réalisation de charpentes, d'ossatures bois et d'audits énergétiques

Dès 2005, tous deux ont élaboré un premier projet de rénovation du bâtiment récemment acquis proposant de conserver les murs en moellons extérieurs apparents et en isolant complètement le bâtiment par l'intérieur. Très rapidement, ce projet a été remis en question pour diverses raisons : perte d'inertie du bâtiment (la masse des murs de pierre n'étant plus accessible) , difficulté de résoudre les ponts thermiques au droit des murs de refend et des planchers, problème lié à la diffusion de vapeur d'eau dans les murs.

Le projet soumis à demande de permis d'urbanisme en 2007 proposait donc une toute autre intervention : isolation des murs par l'extérieur (caisson de cellulose insufflée et bardage bois) en maintenant apparents les moellons au sous-sol en façade arrière et en recréant un sous-bassement en moellons isolé en façade avant et pignon.

Vue d'ensemble côté rue.

Façade sur rue avant travaux.

## Descriptif de la rénovation

### Situation de départ

Le choix d'une isolation par l'extérieur présente de nombreux avantages :

- inertie thermique du bâtiment conservée grâce à l'accessibilité de la masse des murs en moellons (réduction des fluctuations de chaleur -refroidissement et surchauffe - du bâtiment)
- limitation du nombre de ponts thermiques à gérer
- pas de perte d'espace à l'intérieur
- grande liberté pour la création de nouvelles baies en maçonneries non apparentes: les façades extérieures seront complètement habillées de bois

Ce projet, en cours de réalisation depuis début 2008 allait leur permettre de maintenir l'âme de la construction d'origine tout en l'adaptant au standard d'une maison très basse énergie à l'allure très contemporaine.

Compte tenu de l'activité professionnelle des maîtres d'ouvrage, il était évident que leur implication dans ce projet de rénovation ne se limiterait pas à la conception et aux calculs de performance énergétique : une grande partie du gros œuvre, des travaux d'isolation et de finitions sont réalisés en auto-construction. Cette envie d'auto-construction et le savoir-faire des maîtres d'ouvrage en matière d'ossature bois a largement guidé les choix architecturaux et techniques de la rénovation.

Au moment d'écrire cette présentation le gros œuvre est achevé, les châssis posés et les travaux d'isolation (murs- sols et toiture) sont terminés à 90%. Les propriétaires, jeunes parents depuis fin 2009, espèrent rejoindre leur nouveau lieu de vie fin 2010.

Le bâtiment en cours de rénovation fait partie d'un ensemble architectural plus vaste :

- une première partie, construite vers 1850, propriété et habitation actuelle des grands parents
- une seconde partie, composée d'une part, d'une grange, construite aussi vers 1850, et d'autre part d'une habitation construite vers 1900, ayant été peu habitée au début du siècle dernier. L'ensemble était utilisé comme exploitation agricole, élevage de vaches et cultures diverses jusqu'en 1991.

Ce sont ces deux derniers bâtiments qui font l'objet d'une rénovation profonde pour devenir une habitation de 4 chambres.

L'ensemble est construit en moellons de grès, typiques de la région et couvert en façade avant d'un cimentage encore en bon état. Les façades comportent peu d'ouvertures et celles-ci sont de petites tailles. Le bâtiment est construit parallèlement à la route et une différence de niveau de près de 3 m (un étage) existe entre la rue et le jardin de plein pied avec le sous-sol.

L'état général du bâtiment est bon, hormis l'absence de fondation suffisamment profonde dans la partie plus récente. De ce fait, les maçonneries présentent des hors-plombs et fissures. Les maîtres d'ouvrage décident toutefois de maintenir les murs en réalisant des reprises en sous-œuvre (nouvelle fondation) et épinglages. Ils le regrettent un peu aujourd'hui car ces interventions ont engendrés une perte de temps non négligeable. La couverture de toiture de tout le bâtiment a été remplacée en 2002.

## Conception architecturale

Outre le souhait d'atteindre un haut niveau de performance énergétique, les deux éléments principaux de la conception architecturale du projet sont les suivants :

**Le souhait de respecter l'âme du bâtiment d'origine** : autant à l'extérieur qu'à l'intérieur, des surfaces de murs en moellons sont laissées apparentes :

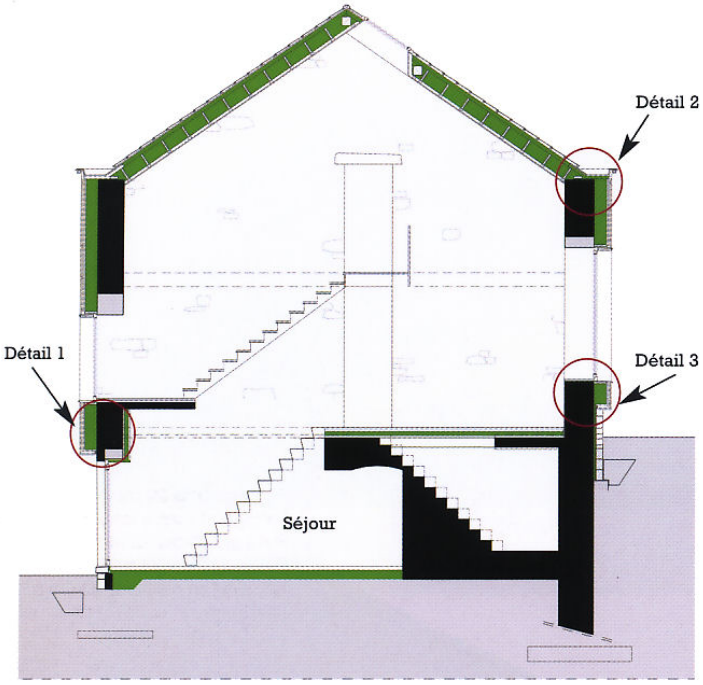
- à l'extérieur : il s'agit des soubassements et de la partie inférieure (sous-sol) de la façade arrière donnant sur le jardin. Le nouveau sous-bassement en moellons a été réalisé devant une coulisse isolée. La partie arrière a été laissé telle qu'elle dans les caves et isolée par l'intérieure dans la pièce séjour.
- à l'intérieur : un espace de circulation situé au centre de l'habitation longe un grand pan de mur en moellons apparents.

**Le désir de réaliser un maximum de travaux en auto-construction** : le choix de la technique d'isolation des murs côté extérieur par des caissons en ossature bois insufflés de cellulose s'est donc imposé naturellement (poste conséquent en terme de budget étant donné les surfaces de murs à isoler).

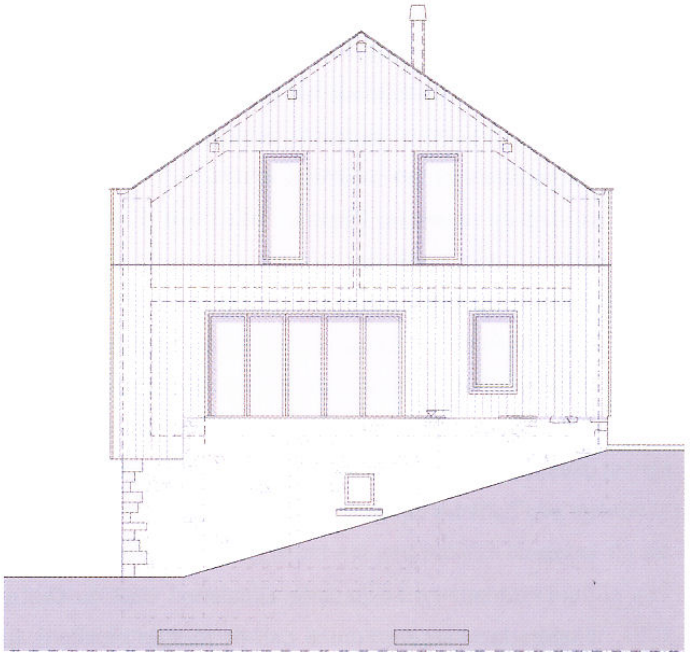
Un crépi sur isolant n'aurait pu être réalisé que par des entreprises spécialisées. L'ensemble de l'ossature sera bardée de bois. Ce choix s'articule très bien avec celui de maintenir des surfaces de murs en moellons apparents. En effet, les façades exprimeront une alliance harmonieuse entre bâti ancien et techniques de rénovation contemporaines.

Les principales pièces de vie étant situées au rez-de-chaussée (niveau de la rue), une terrasse a été crée comme une prolongation naturelle de la cuisine et de la salle à manger vers l'extérieur. Une pièce de séjour type salon sera aménagée au sous-sol, en communication directe avec le jardin.

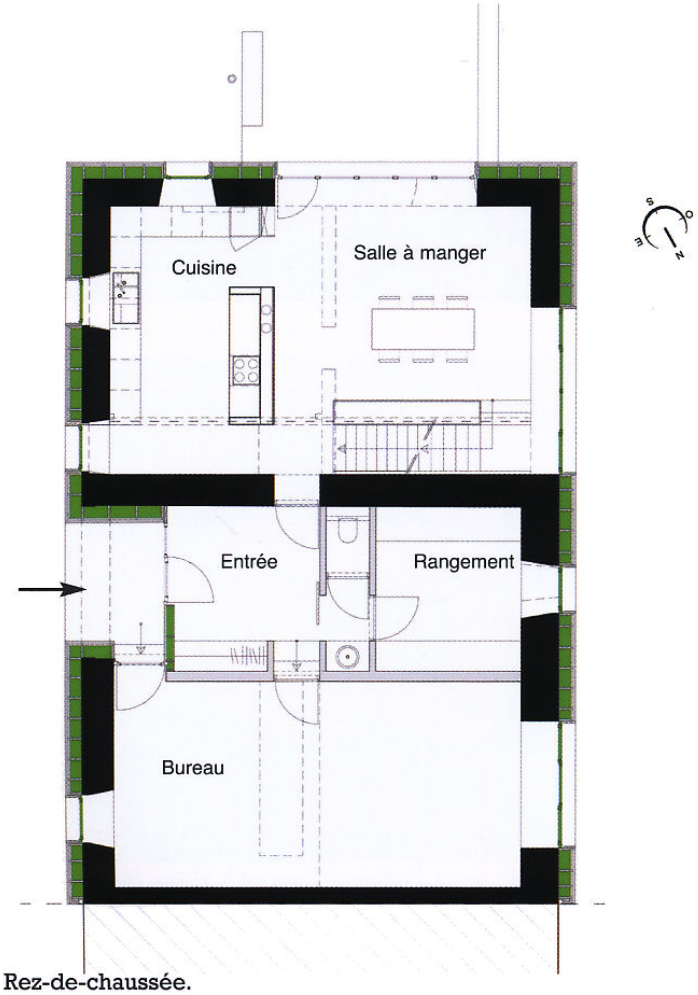
Étapes de réalisation de l'isolation de la façade.



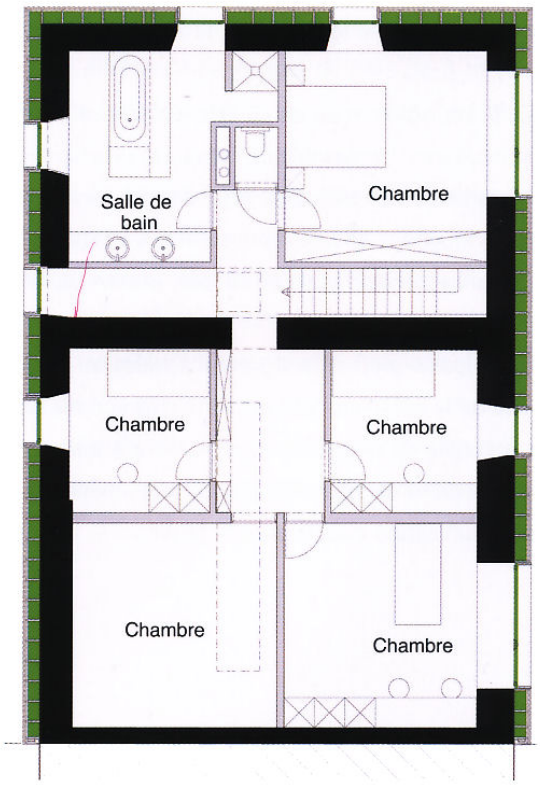

Coupe transversale.



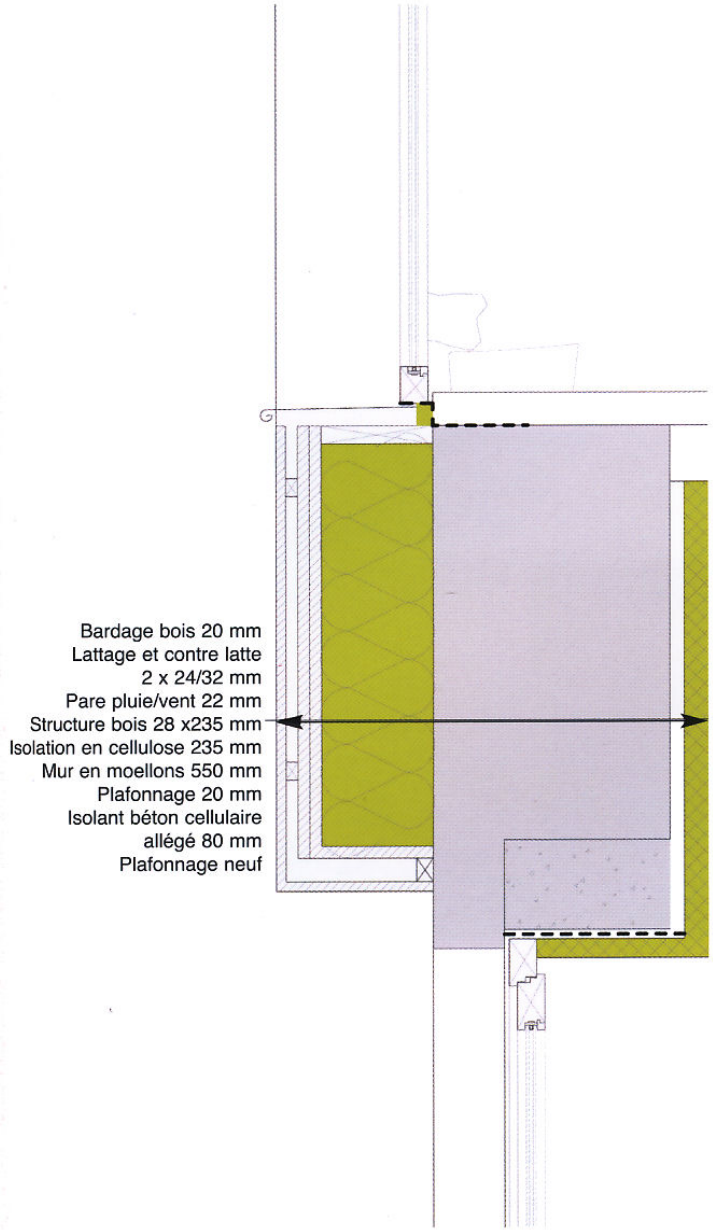
Façade sud.



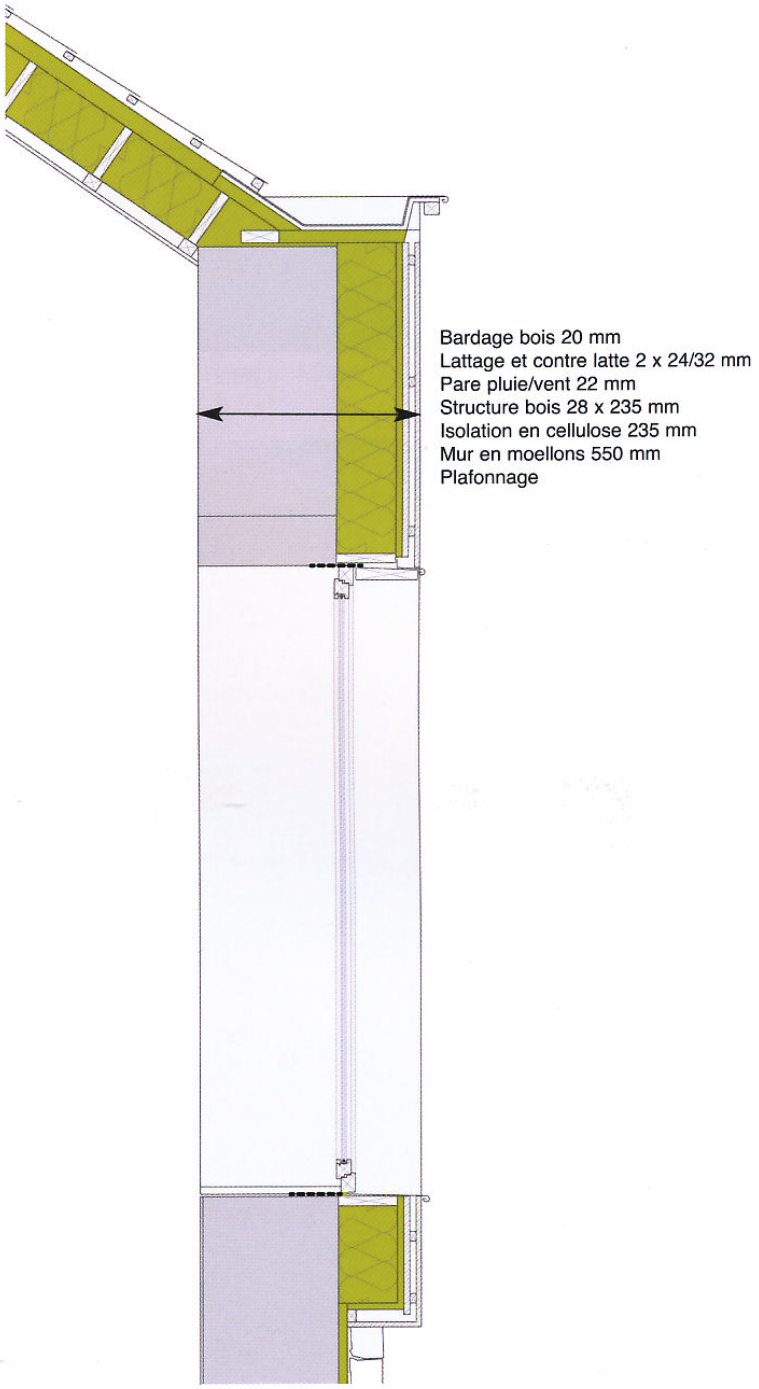

Rez-de-chaussée.




Sous-sol (niveau jardin).




Détail 1 de la jonction entre isolation extérieur et intérieur.




Détail 2 et 3 du mur extérieur ( RDC - avant).

Les caissons qui recevront la laine de cellulose sont réalisés au sol et fixés ensuite à la façade. Cette technique a été utilisée pour les 3 façades du bâtiment.

# Amélioration de l'enveloppe

L'ensemble des parois entourant le volume protégé (chauffé) ont dû être isolées.

## Toiture

Isolation par l'intérieur avec 23.5 cm de cellulose.

La couverture avait été renouvelée en 2002 mais la sous toiture placée lors de ces travaux – sous-toiture souple micro perforée- laissait déjà apparaître des défauts et donc des risques de dégradation lors de l'insufflation de la cellulose à haute pression. Pour éviter tout risque de dégradation de la sous-toiture, une première couche d'isolation en laine de bois semi-souple a été placée sous la sous-toiture existante pour la renforcer. C'est sous cette couche de laine de bois qu'ont été posés des caissons en bois pour recevoir la cellulose.

## Murs et sols

Isolation par l'extérieur et l'intérieur.

- par l'extérieur pour l'ensemble des murs du rez-de-chaussée et du 1er étage (isolation avec 23,5 cm de cellulose, finie à l'extérieur par un bardage en bois). Les soubassements de ces murs ont été isolés avec 7,5 cm de laine de roche
- à l'intérieur (isolant en béton cellulaire à plafonner) pour la partie du sous sol incluse dans le volume protégé (séjour)
- les sols du rez-de-chaussée seront isolés avec du polyuréthane projeté (8 cm) et les sols du sous-sol avec un empierrement isolant en verre cellulaire de 18 cm.
- toutes les fenêtres sont pourvues de châssis passifs bois – aluminium et de triple vitrage, sauf la grande baie entre l'espace cuisine/salle à manger et la terrasse : les dimensions importantes de cette baie et le mode d'ouverture en accordéon n'ont pas permis de travailler avec des triples vitrages. Un châssis bois avec vitrage basse émissivité (U de 1.1 W/m²K) a été posé.

Toiture avant isolation (sous toiture souple existante).

Première couche d'isolation de la toiture en laine de bois.

Montage des caissons sur la façade arrière.

## Composition des parois rénovées

### Murs extérieurs

| | |
|---|---|
| Bardage bois | 2 cm |
| Lame d'air ventilée -latte contre latte | 5 cm |
| Panneau pare-pluie/ pare-vent | 2,5 cm |
| Isolation en cellulose | 23,5 cm |
| Maçonnerie en moellons | 55 cm |
| Plafonnage | 2 cm |
| **U = 0.19 W/m²K** | 90 cm |

### Murs isolés par l'intérieur (séjour sous-sol)

| | |
|---|---|
| Maçonnerie en moellons | 55 cm |
| Enduit de mise à niveau | 2,5 cm |
| Mortier colle | 0,3 cm |
| Isolant en béton cellulaire | 8 cm |
| Plafonnage | 2 cm |
| **U = 0.32 W/m²K** | 68 cm |

Les soubassements ont été isolés avec de la laine de roche
et recouverts d'un parement en moellons.

### Dalle sur cave (rez-de-chaussée)

| | |
|---|---|
| Voussettes brique | 12 cm |
| Dalle de compression BA | 8 cm |
| Isolation PUR | 8 cm |
| Chape + carrelage | 8 cm |
| **U = 0.29 W/m²K** | 36 cm |

### Toiture principale

| | |
|---|---|
| Couverture en tuiles | |
| Lame d'air ventilée – double lattage | 5 cm |
| Sous toiture existante | 0 cm |
| Isolation en laine de bois | 8 cm |
| Contre-chevronnage isolant en cellulose | 23,5 cm |
| Frein vapeur + double lattage | 4,8 cm |
| Plaque de plâtre | 1,4 cm |
| **U = 0.16 W/m²K** | 38 cm |

### Fenêtres

| | |
|---|---|
| Triple vitrage | Ug = 0.7 W/m²K |
| Châssis bois aluminium | Uf = 0.8 W/m²K |

### Fenêtre de toit

| | |
|---|---|
| Double vitrage | Ug = 1,2 W/m²K |
| Châssis bois | Uf = 2 W/m²K |

Isolation principale du toit en cellulose.

Isolation principale du toit en cellulose insufflée.

Les châssis sont aux normes passives (bois-alu) et munis de triple vitrage.

Les bas de versants de toitures ont été prolongés pour protéger l'isolation extérieure et le bardage bois (33 cm sont ajoutés à l'extérieur). Le bois sera ensuite couvert de zinc.

## Ponts thermiques

Globalement, le choix de la technique d'isolation par l'extérieur a permis de réduire les ponts thermiques de ce bâtiment.

Cependant pour maintenir le mur de refend (espace de circulation au centre de l'habitation) en moellons apparents, les maîtres d'ouvrage ont décidé de ne pas isoler ce mur. Cela a créé un léger pont thermique au niveau du sous-sol.

## Étanchéité à l'air

L'ensemble des murs extérieurs seront plafonnés. Pour assurer une bonne continuité de l'étanchéité à l'air aux raccords murs/châssis, murs/toiture et murs/sol, une bande d'étanchéité à plafonner a été posée.

## Techniques spéciales

### Chauffage et production d'eau chaude sanitaire

Une chaudière à condensation alimentée en pellets assurera le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. Un modèle compact de chaudière (pas encore sur le marché) spécialement adapté aux constructions basse et très basse énergie sera installé fin 2010.

La puissance de la chaudière sera de 8KW avec un ballon tampon incorporé à la chaudière de 600 litres.

Ce modèle de petite puissance a deux grands avantages : un coût et un encombrement réduits.

La chaudière sera installée au sous-sol, hors du volume protégé mais les maîtres d'ouvrage prévoient la réalisation d'un caisson fortement isolé tout autour de celle-ci.

La chaudière est prévue pour permettre dans le futur un raccordement aisé avec des panneaux solaires thermiques.

### Ventilation

La maison sera équipée d'un système de ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur.

## Expériences à partager

On n'est jamais mieux servi que par soi-même…
Dès le départ du projet, les maîtres d'ouvrage ont opté pour des techniques de construction adaptées à l'auto-construction et à leurs savoir-faire.

Conserver oui, mais pas à tout prix !
Le choix de conserver tout le bâti existant, y compris la partie en moins bon état est discutable. En terme de coût, de temps et peut-être de confort, il aurait été plus opportun d'abattre cette partie du bâtiment et de la reconstruire en ossature bois. L' élément qui a le plus fait hésiter les maîtres d'ouvrage est que la couverture de la toiture avait été refaite il y a dix ans.

Prolongation de la toiture pour isolation du pignon.

Les caissons posés et fermés avant la pose du bardage bois. On remarque les trous à mi-hauteur et sous le toit pour l'insufflation de la cellulose.

Cellulose
Laine de bois

Moellons

# Rénovation à Lesves

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Bergerie (élevage de moutons et cochons)
Calendrier | Fin de chantier juin 2009
Programme de la rénovation | Maison unifamiliale de 3 chambres
Besoins en chauffage avant travaux | néant
Besoins en chauffage après travaux | 19.4 kwh/m² par an
Niveau d'étanchéité à l'air | 1.7 vol/h
Surface de référence énergétique | 117 m²
Budget des travaux | 1200€/m²

## Particularités du projet

Isolation par l'intérieur pour maintenir les moellons apparents
Réflexions et expériences concernant l'usage de matériaux écologiques et recyclés (briques et revêtements de sols en terre et chaux)
Gestion ponts thermiques : désolidarisation de la dalle de l'étage (béton armé)

## Difficultés rencontrées

Volume de départ réduit (surtout en hauteur) : rehausse des murs et creusement du sol
Mise en œuvre de l'étanchéité au niveau de la structure de la dalle de l'étage

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Mr et Mme Nonet - Doumont
Architecte | Mr Capieaux
Etude énergétique | EURECA sprl

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols |
Dalle sur sol isolée (PUR projeté)
U=0.107W/m²K – R=9.34 m².K/W
Murs |
Murs isolés par l'intérieur (cellulose)
U=0.118W/m²K - R=8.47 m²K/W
Murs reconstruit (ossature bois - cellulose)
U=0.118W/m²K - R=8.47 m²K/W
Toitures |
Toiture isolée par l'intérieur (cellulose)
U=0.095 W/m².K - R=10.52 m²K/W

## Châssis et vitrage

Châssis bois – aluminium : Uf=1.09 W/m².K
Triple vitrage : Ug=0.6 W/m²K

## Chauffage

Chauffage d'appoint électrique (salle de bain et living)

## Eau chaude sanitaire

Boiler électrique de 200 litres

## Ventilation

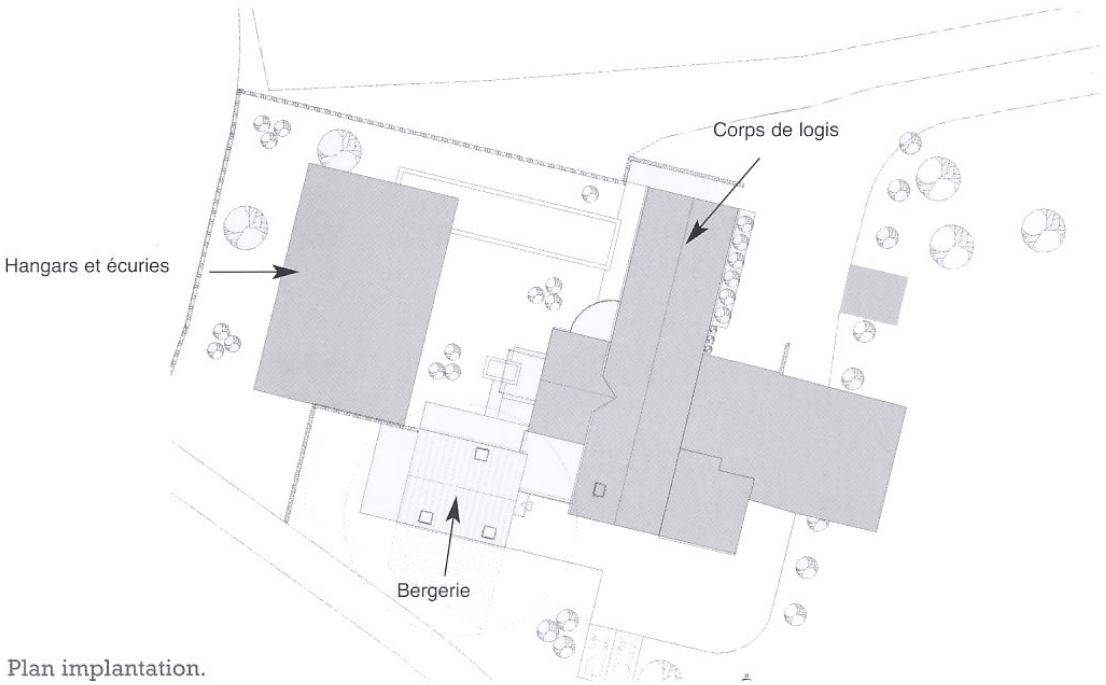
Double flux avec récupération de chaleur. Rendement échangeur 87%

## D'un projet de rénovation...

C'est après avoir dû abandonner leur projet de construction neuve pour des raisons urbanistiques que les maîtres d'ouvrage ont décidé de se lancer dans un projet de rénovation d'une bergerie à Lesves (ce bâtiment fait partie d'un vaste ensemble architectural de type agricole composé d'un corps de logis qui comporte une partie occupée en logement unifamilial et une autre partie à rénover, d'écuries pour l'élevage de chevaux, de hangars pour le matériel agricole et de la bergerie dont il est question ici.

Celle-ci a été acquise en novembre 2007 dans l'objectif d'en faire une habitation de trois chambres.

À moyen terme, l'idée des maîtres d'ouvrage est de rénover la partie du corps de logis non occupée pour en faire leur habitation principale et la bergerie deviendrait un gîte très basse énergie qui permettra à tout un chacun de venir tester, le temps d'un week-end ou d'une semaine, un logement pouvant se passer de chauffage pratiquement pendant toute l'année !



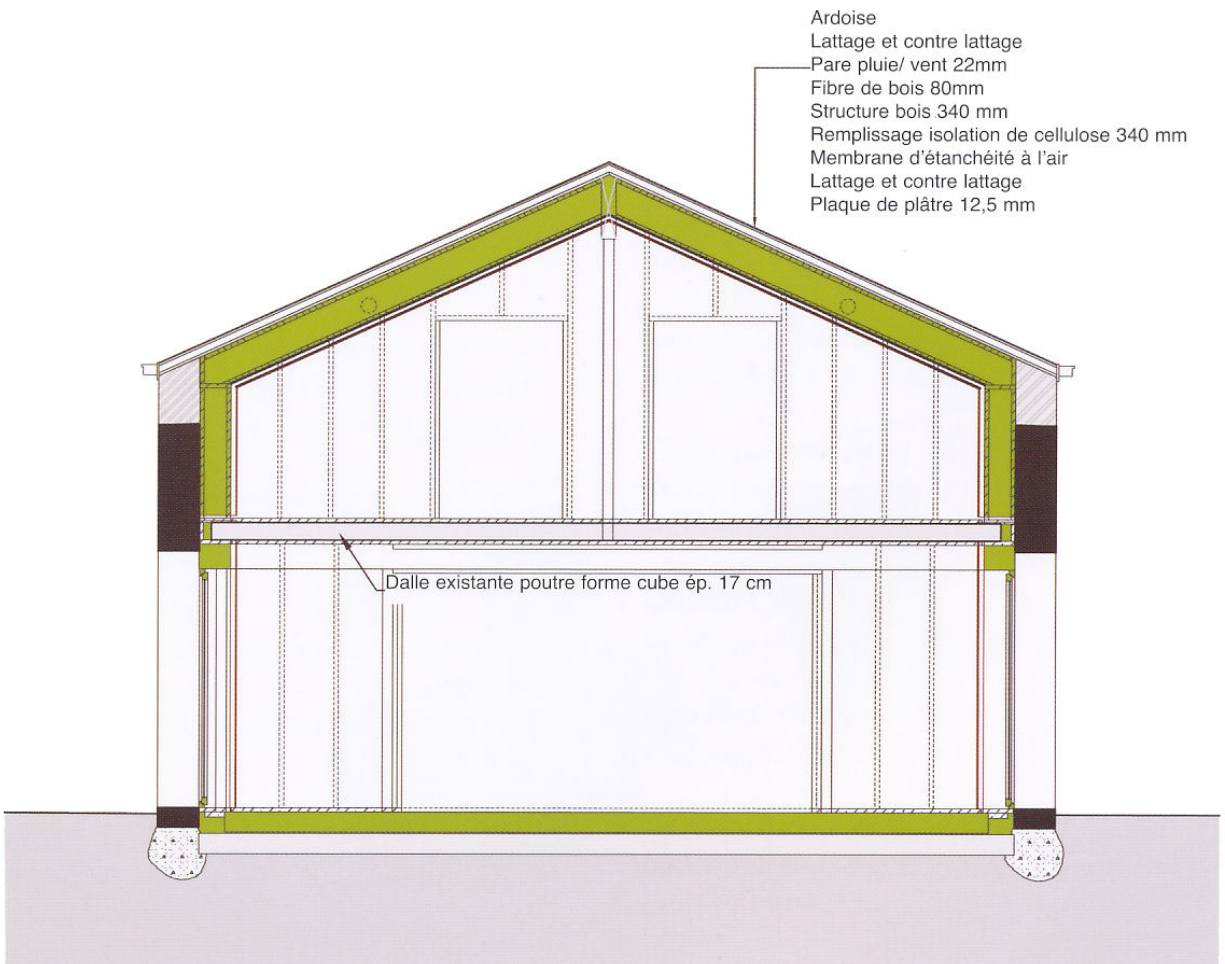

Plan implantation.

## … à un projet très basse énergie

Les maîtres d'ouvrage cherchaient depuis plusieurs années à concrétiser un projet qui leur permettrait de réduire au quotidien et dans leur lieu de vie leur empreinte écologique : Emmanuel Nonet, dirigeant d'une entreprise de construction a déjà entamé depuis quelques années des recherches pour réorienter son activité dans le secteur de la construction durable.

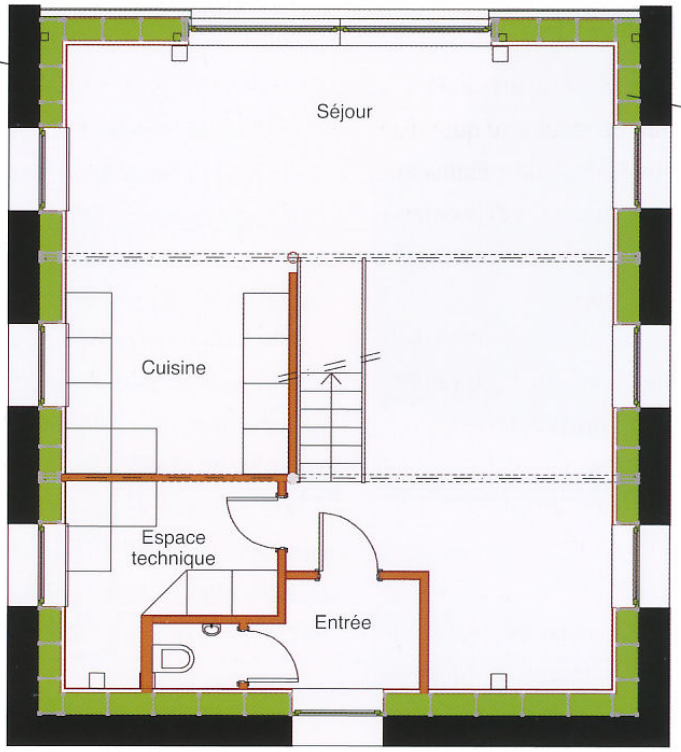
Après l'obtention du permis d'urbanisme pour la rénovation de la bergerie, les premières pistes d'investigations sur les questions environnementales ont été dirigées vers l'utilisation de sources d'énergies renouvelables : bio-méthanisation, biomasse, énergie solaire, etc. Au cours de leurs recherches, le maître d'ouvrage a rencontré Michel Lequeux, conseiller chez EURECA (bureau d'étude et d'accompagnement en économie d'énergie). Ce dernier l'a vite convaincu de prendre la question environnementale de leur rénovation par un autre bout : celui de tenter de réduire au strict minimum les besoins en énergie pour chauffer leur futur logement. Le tournant était pris : le projet de rénovation devait avoir un objectif ambitieux, de pouvoir se passer d'un système de chauffage central . Le bureau d'étude EURECA, spécialisé dans les études énergétiques les a accompagnés tout au long du projet : définition des objectifs énergétiques, choix des techniques d'isolation, adaptation du projet architectural aux choix techniques, suivi de chantier, test d'étanchéité, etc.

Aujourd'hui, cet objectif a été atteint, les maîtres d'ouvrage occupent la bergerie depuis juin 2009 et le logement ne nécessite pas de chauffage central : le très bon niveau de performance énergétique (19 kWh/m².an) permet aux occupants de se contenter des apports internes (lave-vaisselle, aspirateur, éclairage, machine à laver) et très ponctuellement, d'un appoint de chauffage (électrique) pour atteindre une température confortable.



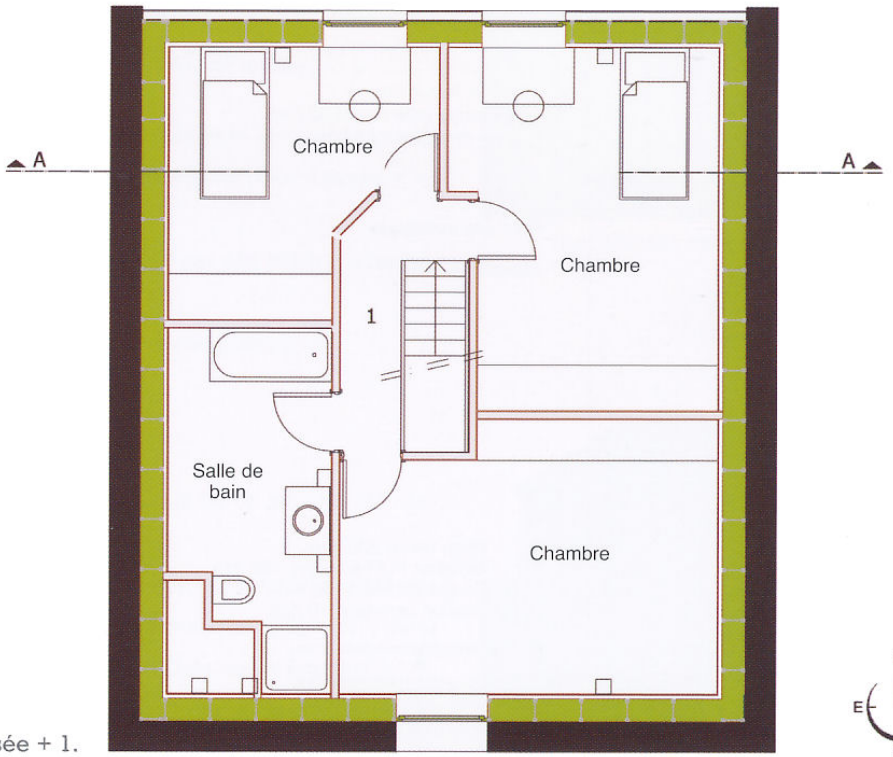

Coupe transversale.

Crépi sur panneaux
Latte/contre latte 2x24/32 mm
Pare pluie/ pare vent
Structure bois 340
Remplissage isolation en cellulose 340 mm
Fibre de bois 8 mm
Lattage 2x24/32 mm
Plaque de plâtre 12,5 mm




Maçonnerie existante 400 mm
Structure bois 340 mm
Remplissage isolation en cellulose 340 mm
Fibre de bois 8 mm
Latte/contre latte 2x24/32 mm
Plaque de plâtre 12,5 mm

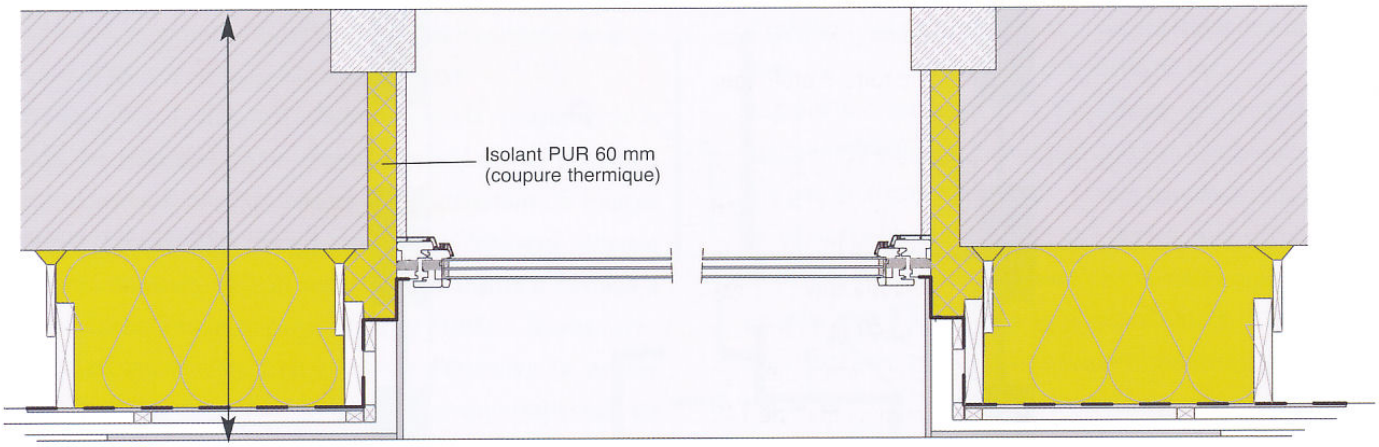
Rez-de-chaussée.

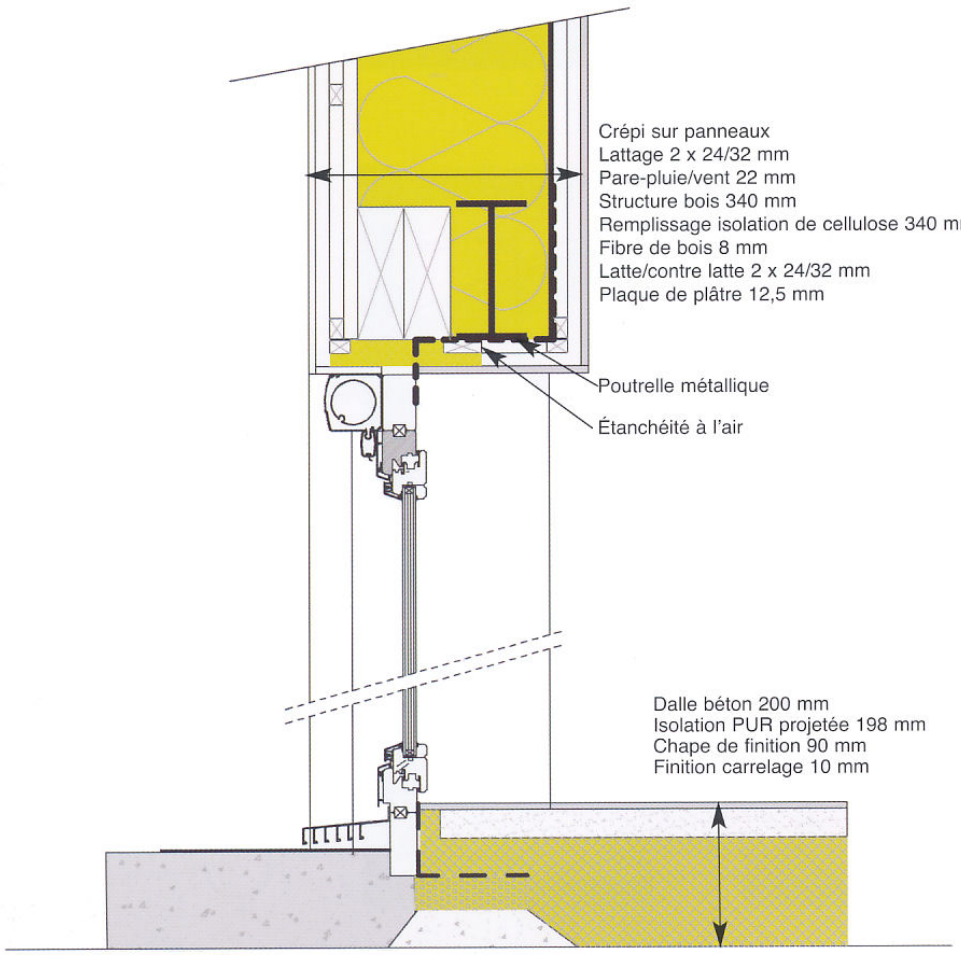



Rez-de-chaussée + 1.

Détail du mur isolé par l'intérieur - raccord avec et châssis.

Maconnerie existante 400 mm
Structure bois 340 mm
Remplissage isolation de cellulose 340 mm
Fibre de bois 8 mm
Latte/contrelattage 2 x 24/32 mm
Plaque de plâtre 12,5 mm




Détail du mur reconstruit - raccord avec le châssis.

## Descriptif de la rénovation

### Situation de départ

La bergerie a été construite vers 1850 pour l'élevage de cochons et ensuite de moutons; vers 1990, elle a été transformée en petite écurie composée de trois boxes. Une annexe a été construite pour doubler la surface au sol de la bergerie; celle-ci, appuyée contre la façade Est a été construite en blocs de béton, avec une toiture prolongeant le versant de la toiture inclinée.

Dès le départ du projet il a été décidé de supprimer l'annexe, inintéressante sur plan architectural. La volumétrie du bâtiment principal est donc très simple et de petite taille : un rectangle de 85 m² au sol (dimensions extérieures :10 m sur 8.5 m) sur deux niveaux : le rez-de-chaussée avec une hauteur sous plafond de 2m40 et le premier étage sous la toiture (bas de versants à 1m et hauteur intérieure sous faîte à 2m70). La surface habitable intérieure hors murs était de 149 m².

Le bâtiment ne disposait d'aucune fondation, mais la structure principale était en bon état :

- trois des 4 façades (nord, est et ouest) sont des murs massifs en moellons de grès de 40 cm d'épaisseur. Le pignon Sud était construit en blocs de béton.
- le plancher séparant le rez-de-chaussée et le premier étage est composé d'une dalle en béton armé construite pour supporter les stocks de foin et de paille .

L'étage n'était accessible que de l'extérieur par des petites ouvertures dans les murs pignons.

La couverture de toiture était à renouveler complètement.

Pignon nord avant rénovation.

Une annexe avait été construite à l'est et a été démolie.

### Conception architecturale

Comme on la vu, la conception architecturale de ce projet a été réalisée en deux temps :

Un premier projet de rénovation dont l'objectif énergétique correspondait au respect de la réglementation thermique "K55" (en cours) et un second projet visant une rénovation "très basse énergie".

Le projet initial avait comme objectif la création d'un espace de vie convivial et confortable, respectant le bâti existant :

Façade ouest avant rénovation.

- le rez-de-chaussée rassemblait les espaces de jour avec le séjour, la salle à manger et la cuisine dans un espace ouvert, de manière à perdre le moins d'espace possible en circulation et en cloisons intérieures.
- le 1^er étage rassemblait les espaces de nuit (3 chambres).

En terme d'isolation, le projet prévoyait une isolation des murs par l'intérieur de 6 cm (PUR revêtu), une chape en argile expansé au sol et la toiture isolée avec 15 cm de laine de roche.

L'évolution de ce projet pour répondre au nouvel objectif énergétique "très basse énergie" a été confiée au bureau d'étude EURECA. Les critères ayant été pris en compte à cette étape sont définis de la manière suivante par Michel Lequeux: Pour atteindre une performance énergétique optimale pour ce bâtiment, il a fallu examiner les critères suivants :

- orientation du bâtiment - optimisation des apports solaires passifs : la nécessité de reconstruire la façade sud était une belle opportunité pour créer de nouvelles ouvertures qui allaient permettre d'importants apports solaires passifs et une importante quantité de lumière naturelle.
- amélioration de la compacité : le choix de supprimer l'annexe avait déjà été fait dans le projet initial; sans autre modification du volume, le bâtiment principal (bergerie sans annexe) présentait une compacité intéressante pour un projet très basse énergie.
- isolation performante des parois et traitement des ponts thermiques : les maîtres d'ouvrage souhaitant conserver les moellons apparents, seule la solution d'une isolation par l'intérieur était envisageable pour les 3 façades en moellons à conserver. Le choix a été de construire "une boîte dans la boîte" en réalisant une ossature bois de 34 cm (isolée en cellulose) contre les murs existants. Le choix d'une isolation par l'intérieur n'est pas un choix optimal (perte d'inertie et risque de création de ponts thermiques). Pour la perte d'inertie, une solution a été de réaliser des cloisons intérieures en briques de terre crue, de manière à rendre au bâtiment une inertie suffisante. La question des ponts thermiques était peu problématique dans ce projet étant donné qu'aucun mur intérieur existant n'était conservé. Le principal pont thermique à résoudre était la pénétration de la structure de la dalle du premier étage (poutrelle métallique) dans les murs en moellons. Le choix a été de désolidariser (disquer) la poutre métallique et de la reporter sur une structure en bois comprise dans l'épaisseur de la nouvelle ossature intérieure.

Perception de l'épaisseur de la toiture au droit de l'ouverture de toiture.

La façade sud allait être complètement reconstruite en ossature bois.

L'isolation renforcée de la dalle du sol (20 cm) et de la toiture (42 cm) allaient avoir d'importantes implications sur le projet : au rez-de-chaussée il a fallu creuser pour récupérer près de 20 cm ; à l'étage, les murs ont été rehaussés de 50 cm.

L'ensemble de ces critères ont été intégrés à la réflexion sur l'aménagement des espaces et ont abouti à un projet alliant confort, performance et espaces de qualité.

Il semble important de souligner ici l'impact en terme de surface habitable de l'isolation des murs par l'intérieur: la surface habitable passait de 143 m² (projet initial avec 6 cm d'isolation) à 119 m² (projet avec 34 cm d'isolation) . La qualité des espaces du projet fini démontre qu'il est possible d'allier performance énergétique et qualité architecturale, même dans des projets ayant de nombreuses contraintes (ici contrainte en terme d'espace). Cette "alliance" exige des études architecturales et techniques "concertées" et ce, le plus en amont possible du projet de rénovation, dès les premières esquisses. "Cette concertation n'est pas toujours aisée à mettre en pratique" commente Michel Lequeux, "c'est souvent en cours de projet, lorsque les options

architecturales sont déjà très avancées que le maître de l'ouvrage fait appel à un bureau d'étude pour les questions énergétiques. Il est indispensable que les mentalités évoluent et que les bureaux d'études (ou les conseillers énergie) soient considérés comme des acteurs à part entière d'un projet de construction ou de rénovation. La nouvelle réglementation PEB va dans ce sens en imposant le recours à un responsable ou conseiller PEB avant l'introduction d'un permis d'urbanisme, mai il faudra encore du temps avant que cette évolution soit considérée comme une réelle opportunité et pas seulement comme une contrainte administrative".

L'évolution de ce projet de rénovation d'un projet "K55" à un projet très basse énergie a exigé de revoir complètement l'organisation des espaces.

Façade est.

Façade sud.

Structure bois dans la maçonnerie existante.

Ossature bois à l'intérieur, contre les murs en moellons.

# Amélioration de l'enveloppe

## Composition des parois rénovées

### Murs

Le mur côté sud devait accueillir une grande baie vitrée ; il a dû être démoli car la maçonnerie était en très mauvais état et a été reconstruit.

#### Murs isolés par l'intérieur

| | |
|---|---|
| Moellons | 40 cm |
| Structure bois isolée en cellulose | 34 cm |
| Panneau de fibres de bois | 0.8 cm |
| Latte et contre latte, lame d'air non ventilée | 4.8 cm |
| Plaque de plâtre | 1.3 cm |
| **U = 0.118 W/m²K** | **80.9 cm** |

#### Mur reconstruit

| | |
|---|---|
| Crépi sur panneau | 2 cm |
| Vide | 2.4 cm |
| Fibre de bois bitumée pare pluie | 2.2 cm |
| Structure bois isolation en cellulose | 34 cm |
| Panneau de fibre de bois | 0.8 cm |
| Vide | 4.8 cm |
| Plaque de plâtre | 1.3 cm |
| **U = 0.118 W/m²K** | **47.5 cm** |

### Toiture

Elle a été complètement remplacée (structure et couverture). Une structure bois de 34 cm a été remplie de flocons de cellulose insufflés à haute densité. Cette 1ère couche a été complétée par des matelas souples de 8 cm en fibre de bois. Pour maintenir des hauteurs sous plafond agréables à l'étage (la toiture a une épaisseur de 50 cm), il a fallu réaliser une rehausse des murs d'origine.

| | |
|---|---|
| Ardoise | 0.5 cm |
| Lame d'air non ventilée | 2.4 cm |
| Structure de fibres de bois bitumé | 2.2 cm |
| Isolation de fibres de bois | 8 cm |
| Structure bois isolée en cellulose | 34 cm |
| Frein vapeur | |
| Plaque de plâtre | 1.3 cm |
| **U = 0.095 W/m²K** | **50.9 cm** |

La toiture est isolée de 34 cm de cellulose + 8 cm de fibre de bois.

Isolation intérieure avec panneaux de fibre de bois.

Pose de la sous-toiture.

## Sols

Le bâtiment ne disposait pas de fondations et en début de chantier, il fallu réaliser une reprise en sous-œuvre périlleuse vu la masse des murs en moellons conservés.

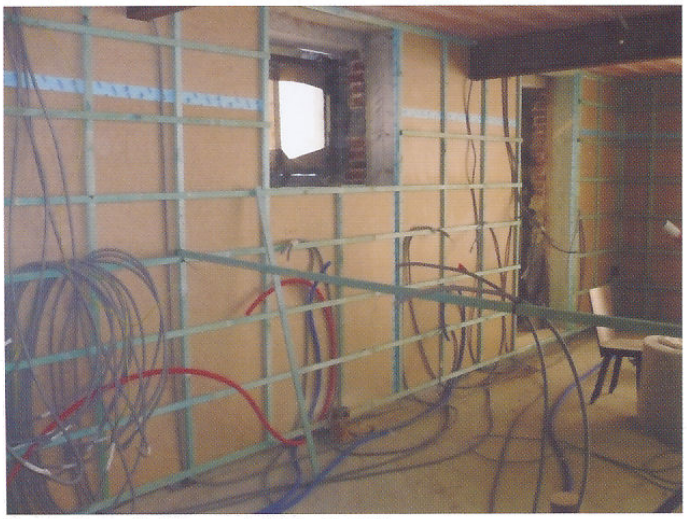
L'isolation de la dalle sur sol était un choix incontournable ! Pour atteindre les 20 cm d'isolation et préserver des hauteurs sous plafonds viables, il a fallu creuser le sol existant à plus de 20 cm de profondeur. Contraintes typiques d'une rénovation et spécialement difficiles lorsque les espaces intérieurs sont de petite taille.

| | |
|---|---|
| Revêtement (carrelages) | 1 cm |
| Chape de béton | 9 cm |
| Isolation en mousse de polyuréthane | 19.8 cm |
| Dalle de béton | 20 cm |
| **U = 0.107 W/m²K** | **49.8 cm** |

Isolation du rez-de-chaussée.

Détails des châssis passif et triple vitrage. Capot aluminium.

Détails des châssis passif et triple vitrage.



Poutrelle métallique et dalle de l'étage.

### Fenêtres

L'intérêt de ne pas avoir porté le châssis vers l'avant, comme dans les constructions traditionnelles, était de diminuer au maximum le pont thermique de mise en œuvre. La pose du châssis a donc été optimisée et maintenue dans l'épaisseur de l'isolant. Ce choix implique une réduction des apports solaires.

| | |
|---|---|
| Triple vitrage | Ug=0,6 W/m².K |
| Facteur solaire | 52 g % |
| Châssis | Uf=1.097 W/m².K |

## Ponts thermiques

Le principal point faible en matière de ponts thermiques était la dalle de l'étage (structure métallique portant des hourdis en béton armé). Pour supprimer cet pont thermique, la dalle a été désolidarisée des murs en moellons (découpage des poutrelles et des hourdis) ; les deux poutrelles sont maintenant reprises par la structure en bois formant les caissons pour la cellulose. La structure bois a été triplée sous les poutrelles.

## Étanchéité à l'air

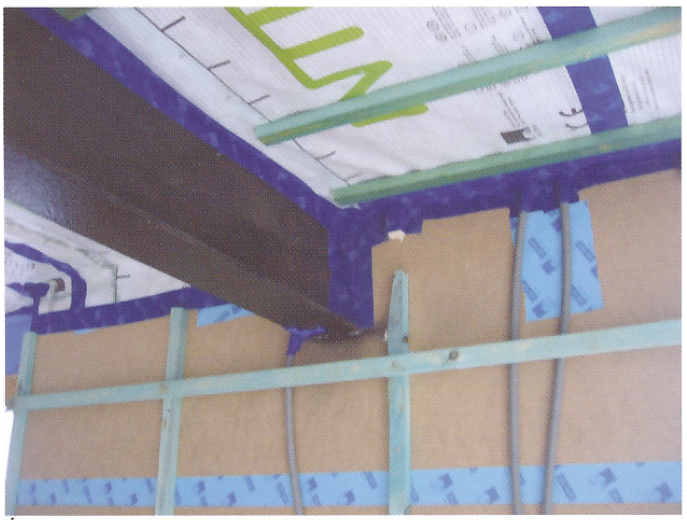
L'étanchéité à l'air est vraiment une étape du chantier qui doit être réalisée avec soin et qui nécessite de l'expérience en rénovation étant donné le nombre de situations différentes à gérer. Ce poste a été réalisé par le maître d'ouvrage ; la difficulté de certains points, raccord entre poutrelle et murs en moellons et

Poutrelle métallique et dalle de l'étage (poutrains claveaux) pendant le chantier.

Test blower door.

étanchéité de la dalle sur sol n'a pas permis d'atteindre le niveau d'étanchéité à l'air qu'aurait exigé la certification passive, mais pour rappel, cet objectif d'une construction passive n'était pas du tout l'objectif des maîtres d'ouvrage en début de projet. La qualité d'exécution de cette rénovation n'est pas du tout remise en cause par les petits défauts d'étanchéité.

Un problème d'étanchéité à l'air des châssis a été détecté lors du test d'infiltrométrie.Une fois les défauts identifiés, le fabriquant est intervenu pour les corriger.



Étancheite à lair au droit de la poutrelle métallique.

Porte d'entrée.

Détail isolation châssis.

Réhausse du mur porteur et pose de la charpente.

Montage du mur en brique.

## Techniques spéciales

### Chauffage

Sur les 12 premiers mois, la consommation totale en électricité était de 7000 kWh pour le ménage. Pour évaluer la part du chauffage on peut déduire des "consommations types" pour 4 personnes : domestiques (électroménager, éclairage (2200 kWh ), la cuisinière électrique (500kWh) et la production d'eau chaude sanitaire (3000 kWh) soit 1300 kWh pour le chauffage.

La consommation théorique évaluée par le logiciel phpp en fonction des performances de l'enveloppe du volume chauffé était de 2223 kWh par an.

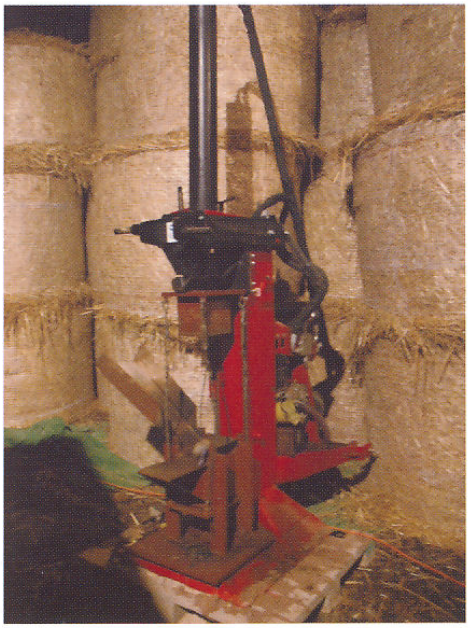
Il ne s'agit que d'évaluation avec des valeurs types; le maître de l'ouvrage prévoit de mettre un compteur sur le boiler électrique pour préciser cette évaluation de la consommation en chauffage.

Les besoins en matière de chauffage étant tellement réduits, les maîtres d'ouvrage ont opté pour un système de chauffage électrique. Il était en effet inimaginable de placer un poêle à bois qui aurait provoqué un inconfort en surchauffant les espaces de vie.

### Ventilation

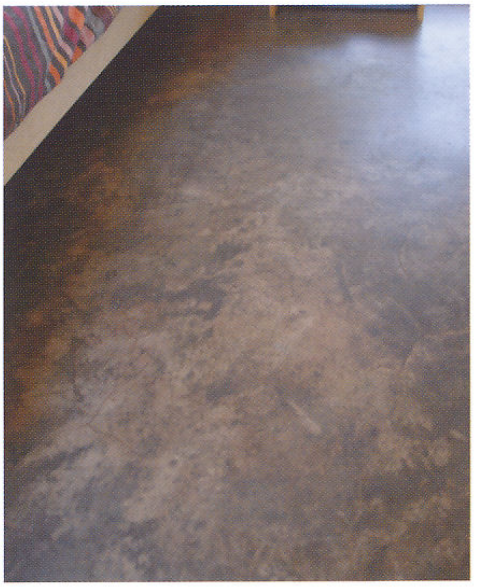
Le système de ventilation est un système double flux avec récupération d'énergie sur l'air extrait. La machine se situe dans l'arrière cuisine. Les gaines desservent les différentes pièce du

Mur en briques de terre crue.



Presse maison pour la fabrication des briques de terre.

Espace séjour.



rez-de-chaussée et de l'étage. La particularité à l'étage est le passage partiel des gaines dans l'épaisseur de la toiture et son isolant.

## Choix des matériaux

Comme on l'a dit, le souhait d'utiliser des matériaux sains et peu énergivores a été un fil conducteur dans ce projet de rénovation. On comprend aisément le choix de la cellulose pour l'isolation des murs et de la toiture dont les qualités en terme de coût, de santé et d'énergie grise ne sont plus à démontrer.

Nous nous attarderons sur le choix des matériaux « intérieurs », qui traduisent parfaitement l'envie des propriétaires de faire de leur projet de rénovation en terrain d'expériences… et de découvertes ! Dans son entreprise de construction d'ouvrages extérieurs (terrains de sports, aires de jeux, construction de chemins…) le maître d'ouvrage dispose d'importants stocks de terre et cherche depuis de nombreuses années à valoriser ce matériau qu'il sait utilisé depuis des millénaires par l'homme pour construire son habitat. Quelques mois avant la rénovation, l'entreprise a acquis un important stock de chaux de très bonne qualité. Ces deux matériaux, chaux et terre ont été la base des finitions intérieures du projet en question :les enduits intérieurs ont été réalisés à base d'argile, prélevée sur le site et testés en diverses proportions.

Revêtements de sol selon la technique du tadelakt

## Expériences à partager

Les maîtres de l'ouvrage se réjouissent du confort de la maison dans son ensemble : la température très confortable de toutes les parois permet d'être toute l'année "pieds nus" sur le sol en carrelage. Vivre toute l'année dans une maison si confortable sur le plan thermique est un réel plaisir, surtout avec des enfants en bas âges La première année d'occupation de la bergerie permet d'évaluer les consommations réelles :

Sur les 12 premiers mois, la consommation totale en électricité était de 7000 kWh pour le ménage. Pour évaluer la part du chauffage on peut déduire des "consommations types" pour 4 personnes : usages domestiques 2200 kWh (électroménager - éclairage ), la cuisinière électrique (500 kWh) et la production d'eau chaude sanitaire (3000 kWh) soit 1300 kWh pour le chauffage.

La consommation théorique évaluée par le logiciel phpp en fonction des performances de l'enveloppe du volume chauffé était de 2223 kWh par an.

Il ne s'agit que d'évaluation avec des valeurs types; le maître d'ouvrage prévoit de mettre un compteur sur le boiler électrique pour préciser cette évaluation de la consommation en chauffage.

Cellulose
Fibre de bois

Briques

# Maison à St Gilles

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Droguerie jusqu'aux années 1990 et logements
Calendrier | Mai 2008 - Septembre 2010
Programme de la rénovation | Habitation unifamiliale de 4 chambres + extension 40 m²
Besoins en chauffage avant travaux | de 200 à 300 kWh/m² par an
Besoins en chauffage après travaux | 21 kwh/m² par an
Budget des travaux | 1345 €/m²
Etanchéité à l'air | 0,97 vol/h
Surface de référence énergétique | 222 m²

## Particularités du projet

Réflexion globale en matière de construction durable et préservation du patrimoine

## Difficultés rencontrées

Autorisation pour l'isolation de la façade avant

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Mr et Mme Kirschfink-Leurquin
Architecte | Gwenola Vilet
Etude énergétique | Marc Montulet
Entreprise générale | Fery Di Paoli

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols |
Sol isolé par plafond de la cave (liège)
U=0,362 W/m²K - R=2,76 m².K/W
Sol de l'annexe – nouvelle dalle isolée (liège)
U=0,37 W/m²K - R=2,7 m².K/W
Murs |
Façade arrière isolée par l'extérieur (fibre de bois)
U=0,368 W/m²K - R=2,71 m².K/W
Façade annexe nouvelle construction (cellulose)
U=0,233 W/m²K - R=4,29 m².K/W
Toitures |
Toiture inclinée (cellulose)
U=0,197w/m².K - R=5,07 m².K/W
Toiture annexe (cellulose)
U=0,210 w/m².K - R=4,76 m².K/W

## Châssis et vitrages

Châssis en bois - Uf=1,5 w/m².K
Triple vitrage - Ug=0,7 w/m².K

## Chauffage et eau chaude sanitaire

Chaudière gaz à condensation + poêle à bois
ECS : 4m² solaire thermique + appoint chaudière mixte

## Ventilation

Système double flux avec récupération de chaleur - rendement échangeur 91%
Puits canadien en amont de la VMC

## D'un projet de rénovation...

C'est après plusieurs expériences de rénovation que les maîtres d'ouvrage ont décidé d'acheter en 2007 l'ancienne droguerie de la Chaussée de Forest à Saint-Gilles pour y créer leur nouveau lieu de vie. Leur choix s'est porté sur cette habitation pour sa situation, proche des transports en commun, pour sa valeur patrimoniale, et son jardin de grande taille (8 x 35 m), bien protégé et bien orienté.

Les maîtres d'ouvrage sont depuis toujours très impliqués et sensibles à la protection de l'environnement et ont opté pour la vie en ville, condition incontournable pour pouvoir se passer d'un véhicule privé. L'achat de cette maison représentait pour eux l'occasion de concrétiser leur souhait d'habiter un lieu respectueux de l'environnement.

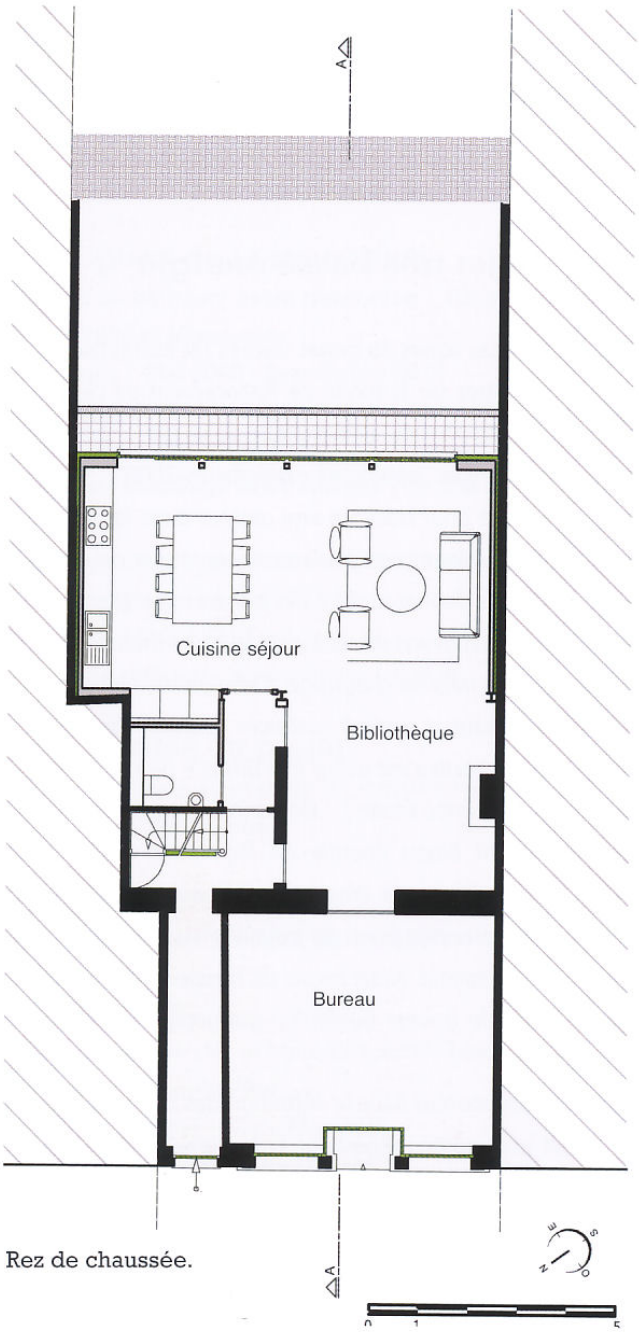
Les maîtres d'ouvrage sont tous les deux actifs comme intermittents du spectacle (avec des périodes de travails intenses entrecoupées de périodes de grande disponibilité) ce qui leur a permis de s'impliquer fortement dans la conception et le chantier, armés de leurs expériences passées et de leur énergie sans limite. Ils ont choisi de travailler avec une architecte avec qui ils avaient déjà travaillé dans le passé, mais qui n'était pas spécialisée dans les constructions basse énergie.

## ... à un projet très basse énergie

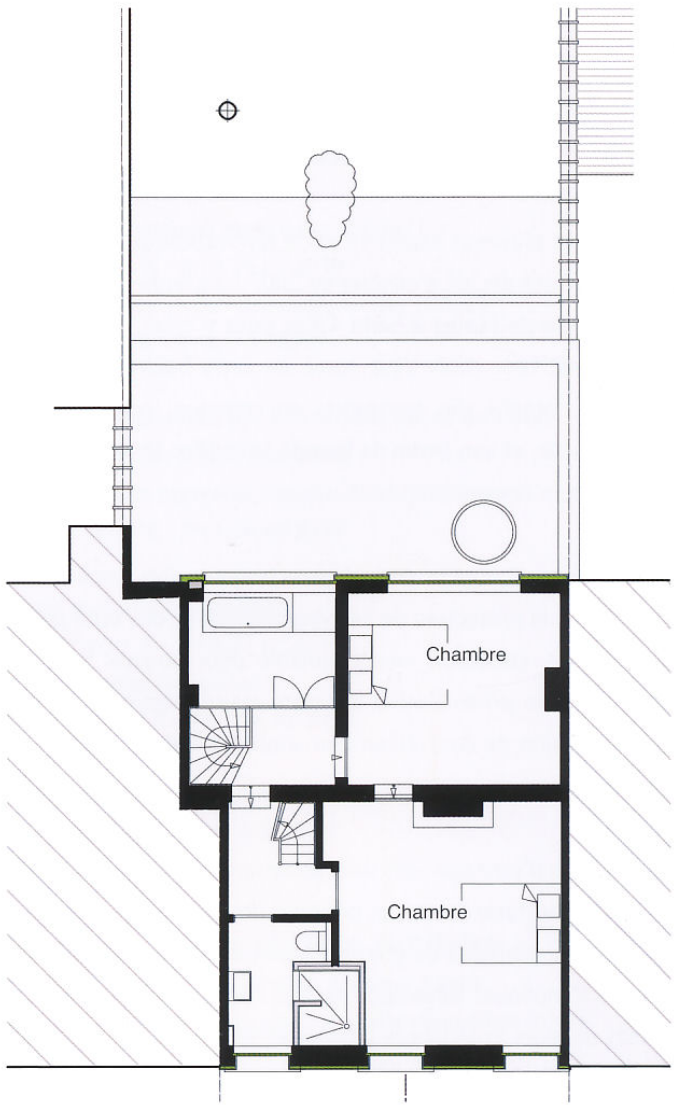
Une fois les grandes lignes du projet tracées (et budgétisées), ils ont dû se concentrer sur le mode de financement de ce projet. C'est pendant cette période, début 2008, qu'ils ont pris connaissance de l'appel projet "bâtiments exemplaires 2008".

*"Ce concours a été pour nous un vrai moteur dans la définition de l'objectif énergétique, non seulement parce que cet appel à projet pouvait nous donner accès à des primes importantes mais aussi parce que nous avons dû réaliser une étude thermique pour évaluer les besoins nets en chauffage. Cette étude, réalisée avec le logiciel phpp, nous a incité à renforcer l'objectif énergétique du projet, même si cela s'est avéré très difficile de trouver quelqu'un pour réaliser cette étude !... Début 2008, les premiers projets de rénovation basse énergie de logements unifamiliaux commençaient seulement à émerger, très peu de bureaux de conseil en énergie acceptaient de travailler sur des projets de type maison unifamiliale. Nous avons dû frapper à de nombreuses portes avant de trouver quelqu'un qui accepte de travailler sur notre projet".*

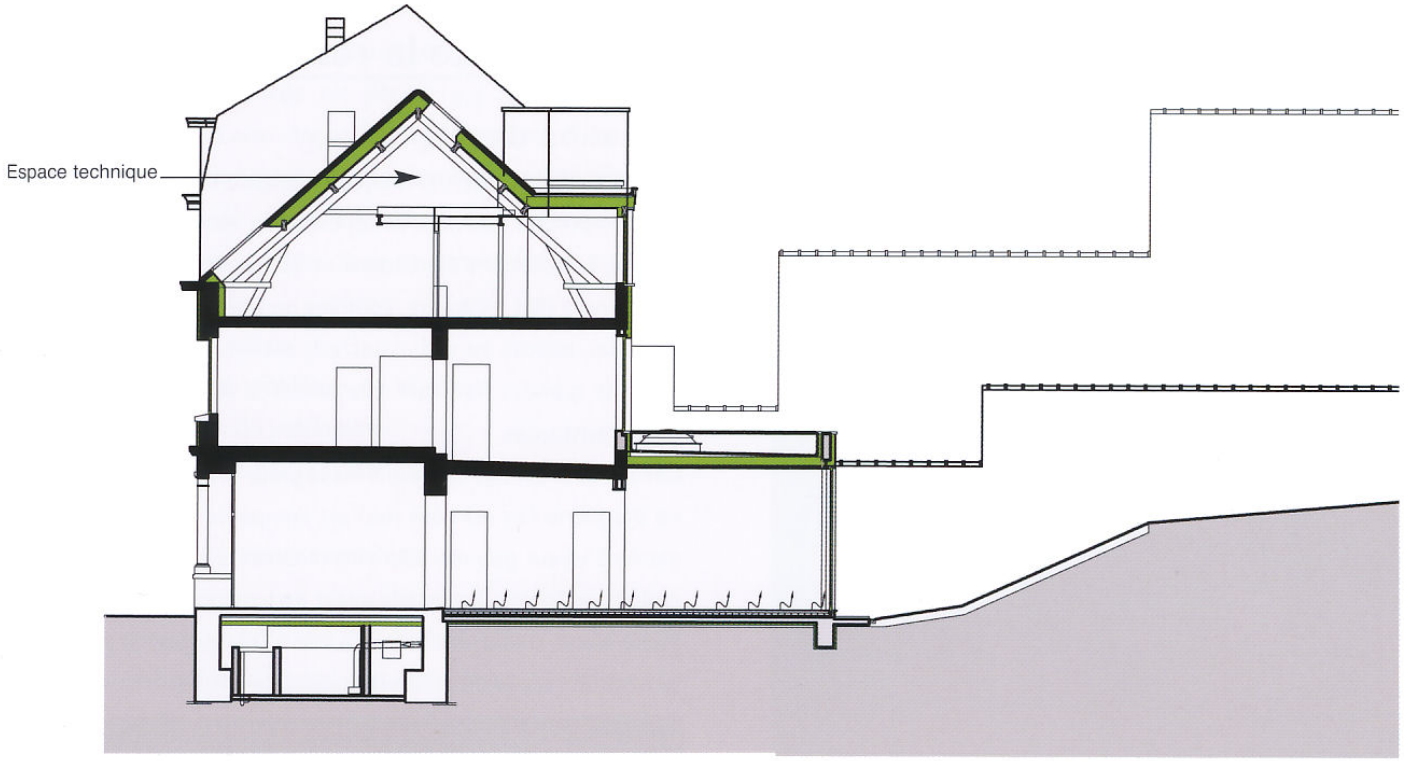
Un autre élément moteur dans la définition des objectifs du projet est le fait que maîtres d'ouvrage (très curieux de nature) et architecte se sont mutuellement tirés vers le haut en rassemblant chacun de leur côté les informations utiles pour la conception de ce type de projet "exemplaire". Cette motivation partagée pour une rénovation durable a permis d'atteindre des résultats impressionnants.



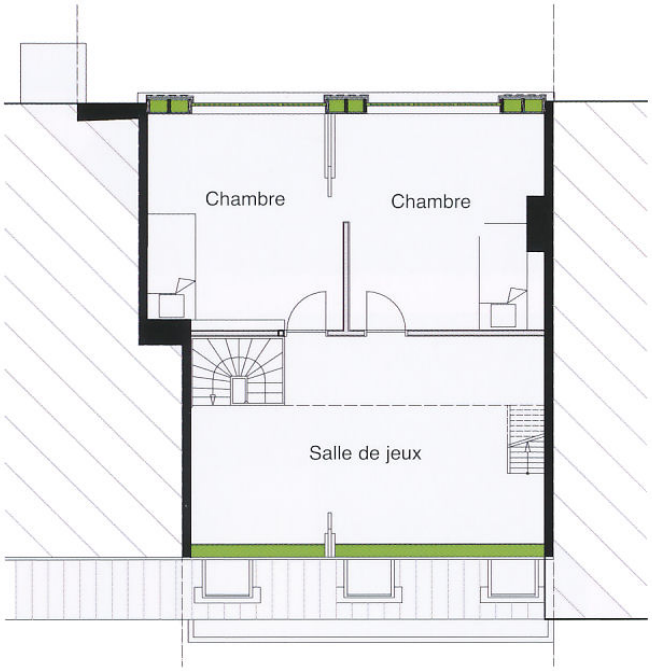

Rez de chaussée.




1er étage.




Coupe transversale AA.




2e étage.

Salle à manger.

Façade arrière avant travaux.

Façade sur rue avant travaux.

# Descriptif de la rénovation

## Situation de départ

La maison, une ancienne droguerie construite en 1916, nécessitait d'importants travaux de rénovation : absence de chauffage central, installations électriques et sanitaires vétustes, annexes en mauvais état à l'arrière, combles non-aménagés ...

Le jardin, exposé au sud – sud/est, est en pente et entouré de murs de grandes hauteurs. Les parcelles voisines sont entièrement construites.

La maison n'est pas classée, mais la pièce principale de l'ancienne droguerie (au rez côté rue) est composée de nombreux éléments à valeur patrimoniale : les meubles de la droguerie et les enduits intérieurs. La façade avant est composée d'éléments en pierre bleue, d'une vitrine (restaurée à l'identique) et d'un revêtement de façade en briquettes réalisé en 1953.

Salle de bain avant travaux.

Droguerie avant travaux.

## Conception architecturale

La démarche architecturale est décrite par l'architecte de la manière suivante : *"Cette rénovation est la synthèse d'une réflexion commune à l'architecte et au maître de l'ouvrage sur :*

- l'habitat en ville pour une famille
- la qualité d'espace (des lieux de convivialité et des lieux d'intimité)
- la qualité de lumière
- la résolution de problèmes de structure
- la préservation du patrimoine
- le bioclimatisme par la conception de l'enveloppe et des espaces
- l'ajout d'équipements techniques

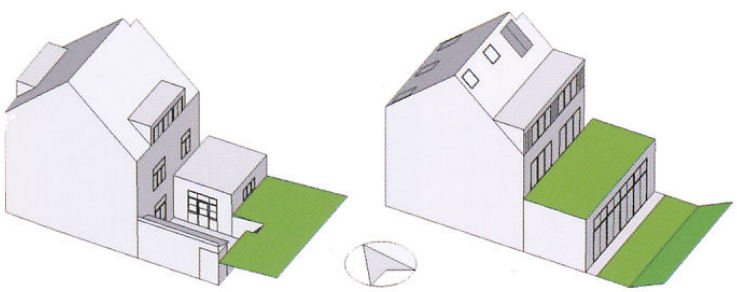
*"Pour être durable, le bâtiment doit évoluer. Selon l'évolution de la famille, certains espaces peuvent être rendus autonomes. La maison peut être transmise, elle n'est pas que réalisée à la mesure des occupants actuels".*

### Orientation des espaces intérieurs

La partie arrière de la maison étant orientée sud/sud-est, les pièces de vie y ont été prioritairement installées.

### Modification du profil

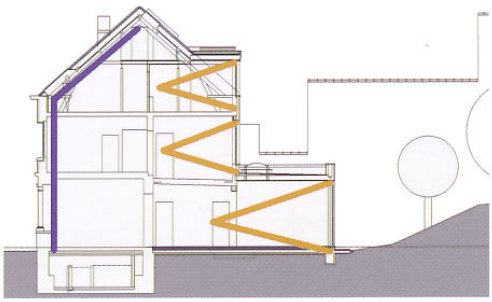
Les annexes existantes en mauvais état et mal orientées ont été démolies pour laisser la place à une annexe de 40 m², bien orientée ; une re-construction qui représentait une opportunité pour améliorer la performance énergétique du bâtiment (murs, sols et toiture de l'annexe très bien isolés).



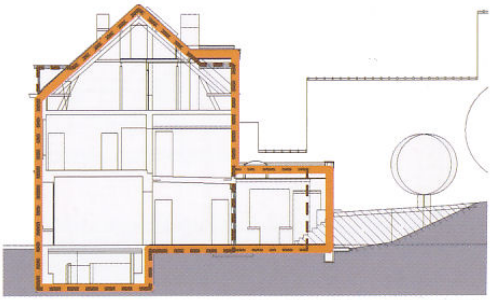
Amélioration de la compacité du bâtiment.

Salle à manger avec vue sur le jardin.

Escalier et salle de bain.



Orientation des pièces de vie.



Modification du profil.

### Isolation de l'enveloppe

Pour garantir la meilleure performance énergétique de l'ensemble de la construction, la technique d'isolation par l'extérieur a été privilégiée. La cave a été exclue du volume chauffé et les sols ont étés isolés.

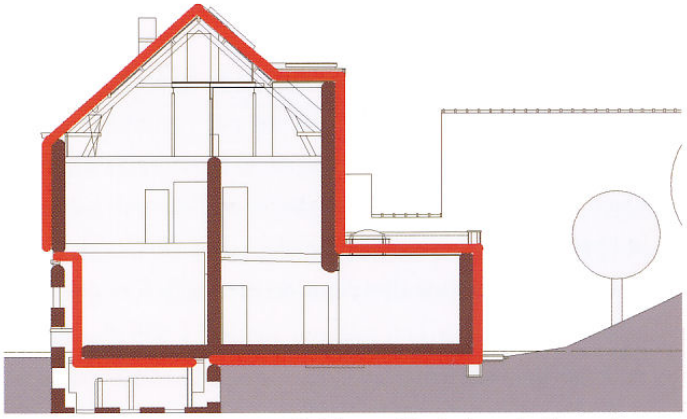


Schéma d'isolation de l'enveloppe.

### Traitement des eaux de pluie

Objectif : minimiser les surfaces imperméables (jardin non bâti et toiture verte sur la nouvelle annexe) et récupérer l'eau de pluie des toitures à versant et de la toiture plate supérieure.

Une citerne maçonnée en cave de 3185 litres et un volume tampon de 1295 litres ont été installés. L'eau de pluie est utilisée pour les toilettes, la machine à laver, le nettoyage et les robinets extérieurs.

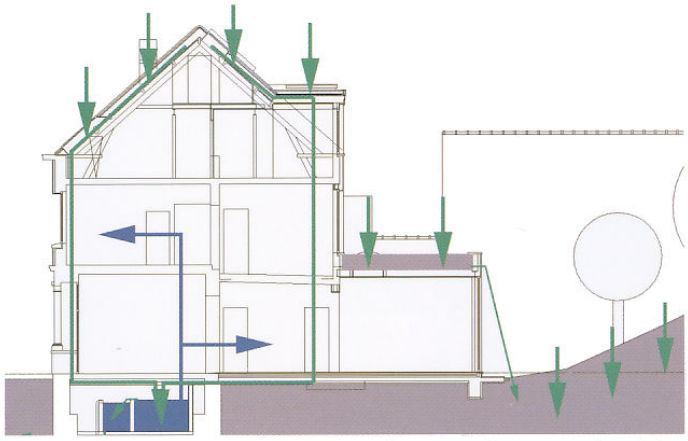


Schéma du traitement des eaux de pluie.

### Équipements techniques

La performance et l'emplacement des équipements techniques ont étés pris en compte dès les avant-projets.

Chaudière, boilers et système de ventilation se trouvent dans le volume chauffé (mezzanine au-dessus du second étage) ce qui présente l'avantage de réduire les pertes énergétiques.

Une attention particulière a toutefois dû être apportée au passage du gaz, des conduites d'eau et surtout, du puits canadien dans le volume chauffé.

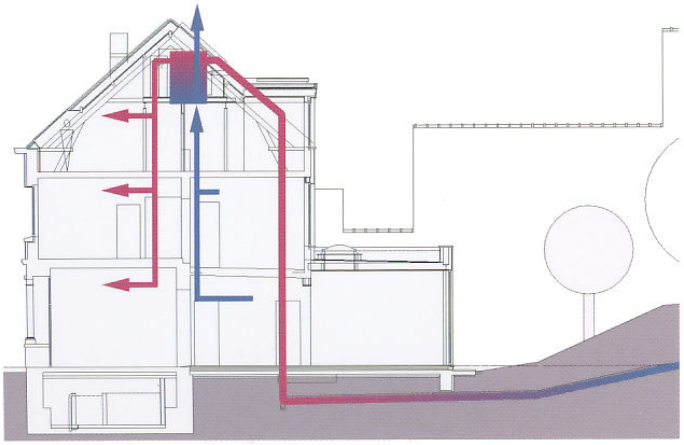


Schéma de la ventilation.

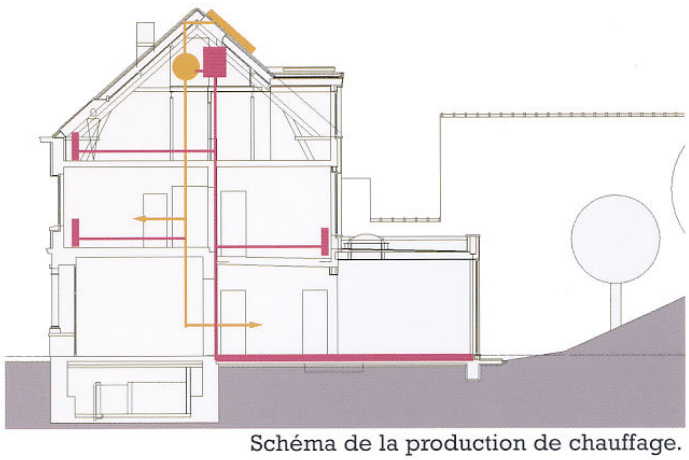


Schéma de la production de chauffage.

## Respect du patrimoine et haute performance énergétique

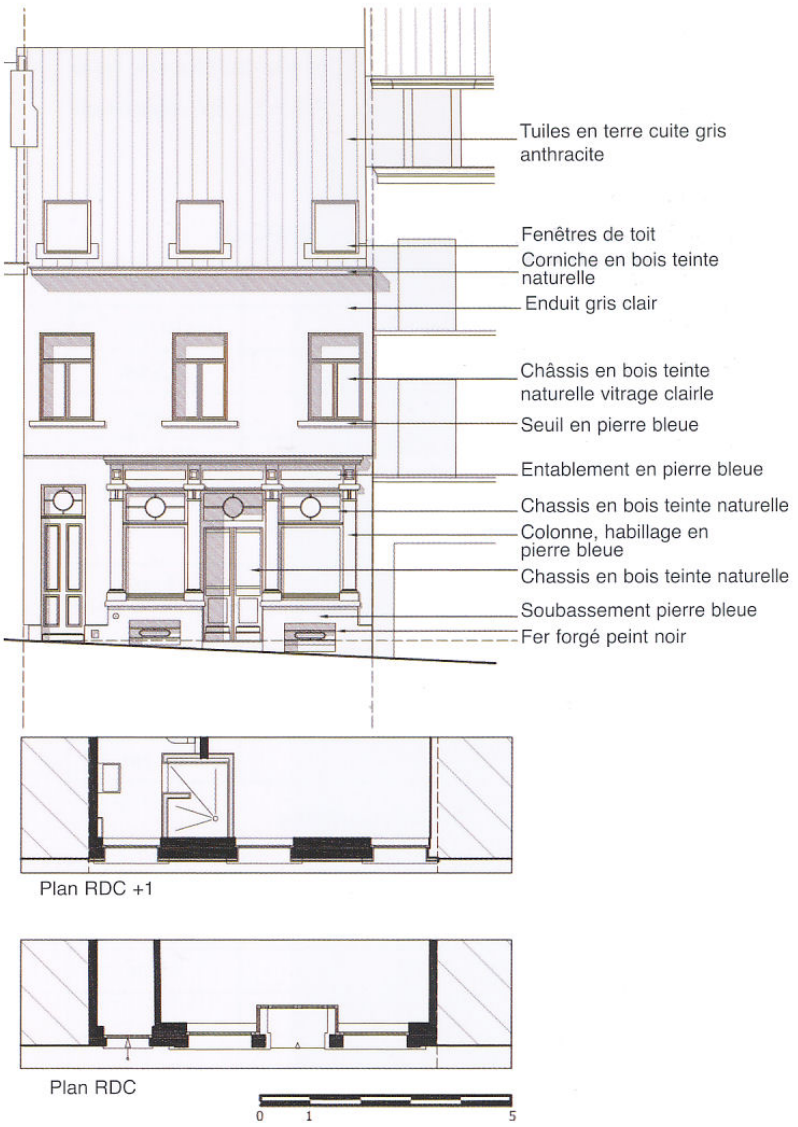
Comme déjà évoqué précédemment, le projet à été confronté à de nombreux frein sur le plan administratif en ce qui concerne l'isolation de la façade sur rue. Les maîtres d'ouvrage prennent ce combat à bras le corps espérant, par ce projet, faire avancer cette question qui risque sinon d'être une pierre d'achoppement pour de nombreux projets de rénovation basse énergie en milieu urbain.

Lors de la demande de permis d'urbanisme, la proposition était d'isoler entièrement la façade avant par l'extérieur, sur les 3 niveaux pour garder la masse thermique du mur dans le volume chauffé (augmentation de l'inertie thermique) et pour maintenir les éléments anciens intacts. Une isolation par l'intérieur amenait aussi un risque de condensation à l'intérieur des murs (risque de pourrissement des gîtes des planchers).

Cette première proposition ayant été refusée, il a été proposé à la commune d'isoler le rez-de-chaussée par l'intérieur et les étages par l'extérieur. Un second refus de la commune a poussé les maîtres d'ouvrage à introduire un recours. Les maîtres d'ouvrage ont décidé d'isoler la totalité de la façade avant par l'intérieur, et en fonction de la réponse de la commune au recours introduit, d'isoler ultérieurement par l'extérieur.

Future salle de bain.

Vitrine de l'ancienne droguerie.




Solution alternative proposée : isolation de la façade avant au rez-de-chaussée par l'intérieur avec restauration de la vitrine à l'identique et isolation par l'extérieur aux étages (avis négatif de la commune – recours en cours).

# Amélioration de l'enveloppe

L'amélioration de la performance énergétique des parois a permis de réduire les besoins nets en chauffage à 21 kWh/m² .par an soit environ 6000 kWh ou 600 litres de mazout par an.

## Composition des parois rénovées

### Murs

La façade arrière du RDC + 1 et RDC +2 (orientée sud/sud-est) a été isolée par l'extérieur permettant ainsi de maintenir la bonne inertie thermique du bâtiment et évitant tous ponts thermiques. Les briques d'origine ont été maintenues dans certaines parties (allèges au RDC+2) ou remplacées par des blocs de terre cuite (RDC+1). La rehausse du mur au RDC+2 a été réalisée en ossature bois.

**Façade arrière anciennes maçonneries (RDC+2)**

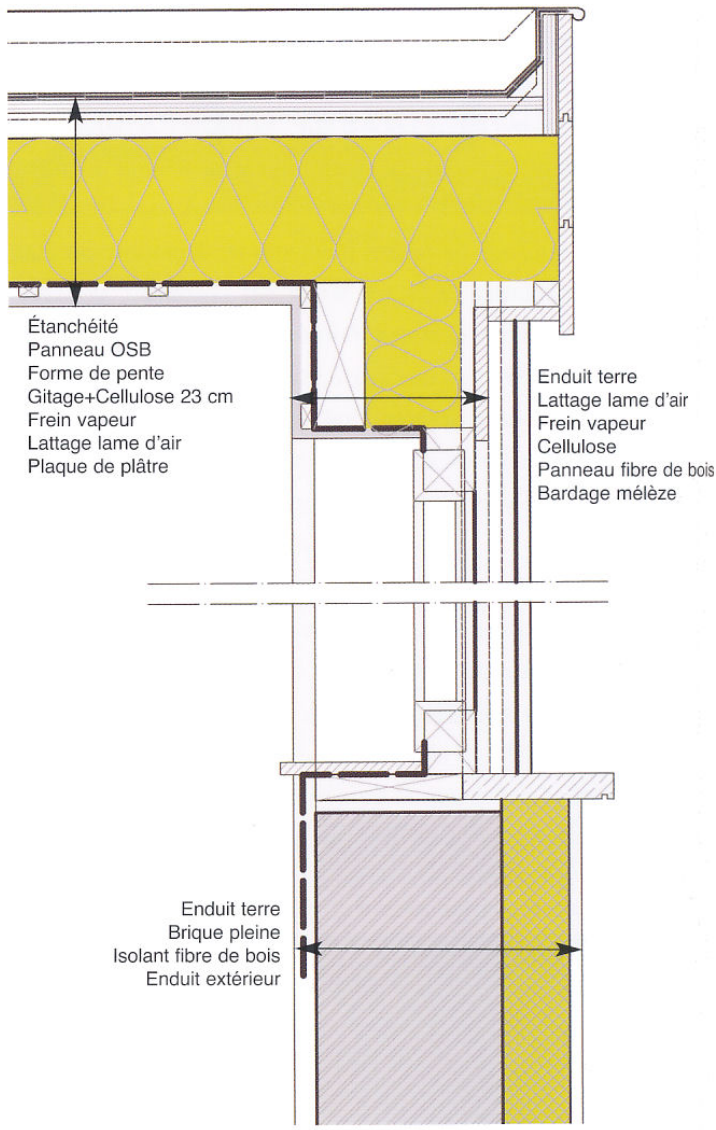
| | |
|---|---|
| Enduit extérieur | 1 cm |
| Isolant fibre de bois | 10 cm |
| Brique pleine | 23,5 cm |
| Enduit intérieur | 1 cm |
| **U = 0,368 W/m²K** | **35,5 cm** |

**Façade arrière nouvelles maçonneries (RDC + 1)**

| | |
|---|---|
| Enduit extérieur | 1 cm |
| Isolant fibre de bois | 10 cm |
| Brique pleine | 19 cm |
| Enduit intérieur | 1 cm |
| **U = 0,347 W/m²K** | **31 cm** |

**Façade arrière nouvelle construction bois**

| | |
|---|---|
| Bardarge en bois | 1 cm |
| Panneau en fibre de bois | 1,6 cm |
| Cellulose insufflée | 23 cm |
| Frein vapeur | |
| Lame d'air non ventilée | 2,5 cm |
| plaque de plâtre < 14 mm | 1,3 cm |
| **U = 0,233 W/m²K** | **28,8 cm** |




Détail façade arrière.
Rehausse bois, chien assis, et toiture plate RDC+2.

**Pour la façade à rue,** comme nous l'avons précisé plus haut, suite à un premier refus de la commune, une solution intermédiaire a été proposée : isolation par l'intérieur pour le rez-de-chaussée et par l'extérieur pour le 1er étage. Malheureusement, cette solution a encore fait l'objet d'un refus.

L'isolation extérieure de la solution proposée (façade avant) consiste en le remplacement de l'enduit imitation briques en un enduit lisse sur isolant en fibres de bois (6 cm).

Finalement la façade avant a été isolée par l'intérieur, en attendant l'avis de la commune sur le recours. Le rez-de-chaussée restera isolé par l'intérieur et l'étage sera éventuellement isolé par l'extérieur (en plus) par la suite.

### Façade avant isolée par l'intérieur

| | |
|---|---|
| Enduit extérieur | 1 cm |
| Brique pleine | 28 cm |
| Isolant fibre de bois | 8 cm |
| Enduit intérieur | 1 cm |
| **U = 0.677 w/m²K** | **38 cm** |

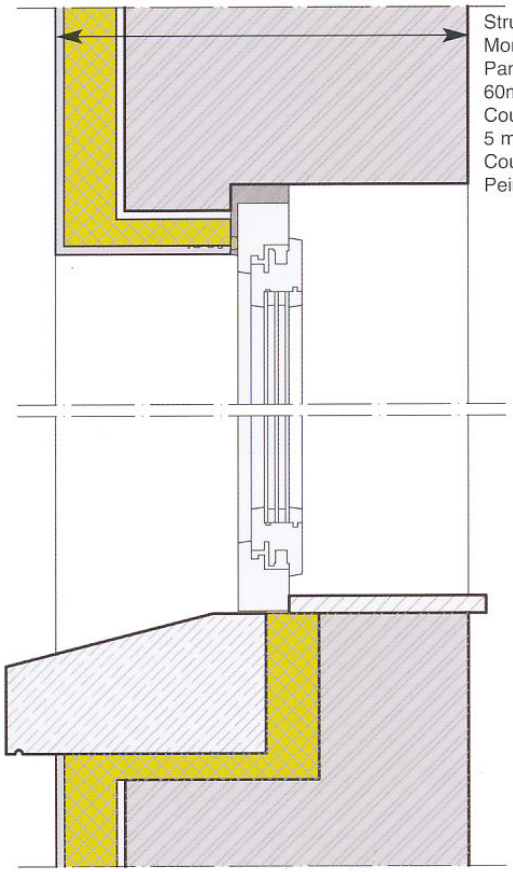
### Façade avant isolée par l'extérieur

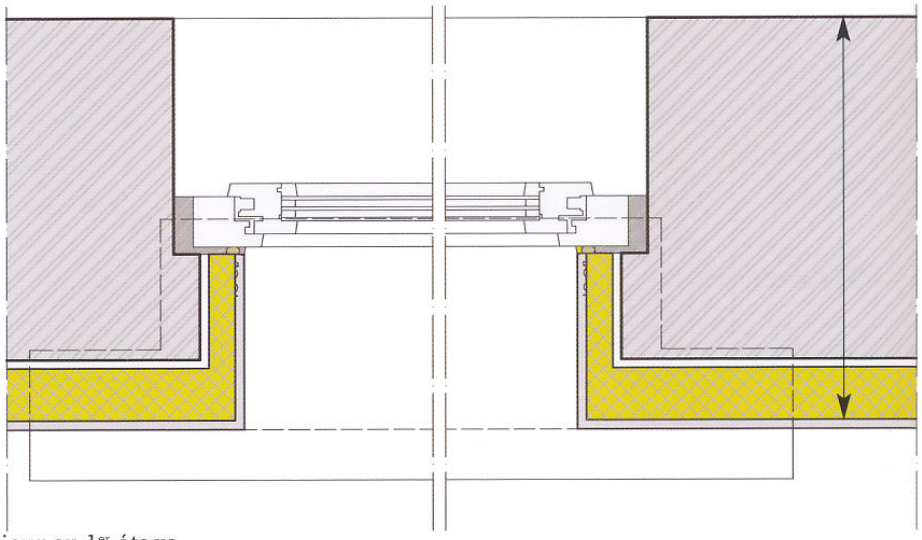
| | |
|---|---|
| Enduit extérieur | 1 cm |
| Isolant fibres de bois | 6 cm |
| Brique pleine | 28 cm |
| Enduit intérieur | 1 cm |
| **U = 0.677 w/m²K** | **36 cm** |

### Murs mitoyens isolés

| | |
|---|---|
| Brique pleine | 16 cm |
| Isolant fibre de bois | 6 cm |
| Brique terre cuite | 9 cm |
| Enduit intérieur | 1 cm |
| **U = 0.430 w/m²K** | **42 cm** |

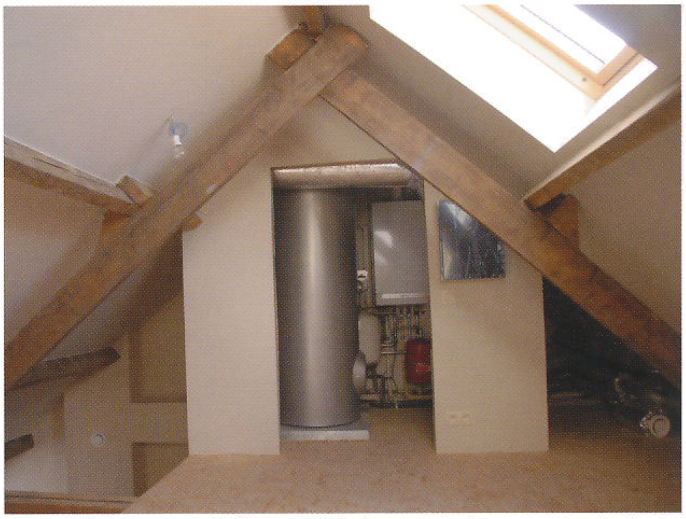
Façade arrière. Évolution du chantier.




Solution d'isolation de la façade avant par l'extérieur au 1er étage.

Toiture avant travaux.



Toiture après travaux et espace technique.

## Toitures

La toiture du bâtiment existant a été complètement remplacée (chevronnage et couverture) et isolée avec de la cellulose.

### Toiture inclinée

| | |
|---|---|
| Tuiles | |
| Panneau fibre de bois | 1,5 cm |
| Cellulose insufflée | 23 cm |
| Frein vapeur | 0 cm |
| Lame d'air non ventilée | 2,5 cm |
| Plaque de plâtre < 14 mm | 1,3 cm |
| **U = 0.197 W/m²K** | **28,4 cm** |

### Toiture végétale annexe

La toiture plate de l'annexe sera à terme une toiture verte. C'est un avantage sur le plan de l'inertie du bâtiment, récupération tampon pour les eaux de pluie et espace vert pour la biodiversité.

| | |
|---|---|
| Terre | 30 -35 cm |
| Panneau OSB | 2,2 cm |
| Cellulose insufflée | 23 cm |
| Frein vapeur | 0 cm |
| Lame d'air non ventilée | 2,5 cm |
| Plaque de plâtre < 14 mm | 1,3 cm |
| **U = 0.210 W/m²K** | **59 - 64 cm** |

Sol de l'annexe. Coulage de la dalle sur isolation en liège.

## Sols

### Dalle RDC chauffage par le sol

| | |
|---|---|
| Dallage | 2 cm |
| Chape | 5 cm |
| Chauffage + isolation | 2,3 cm |
| Sous chape isolante | 6 cm |
| Dalle béton | 15 cm |
| Isolation en panneau de liège | 6 cm |
| **U = 0.37 W/m²K** | **36,3 cm** |

### Sol sur cave

| | |
|---|---|
| Carrelage | 2 cm |
| Chape de sable | 4 cm |
| Voussettes briques pleine | 9 cm |
| Isolation en liège | 10 cm |
| **U = 0.362 W/m²K** | **25 cm** |

Toiture plate prévue avec végétalisation.

Façade arrière avec les nouvelles fenêtres.

Recherche des fuites lors du blowerdoor.

### Fenêtres

#### Fenêtres remplacées

| | |
|---|---|
| Vitrage triple | Ug = 0,7 W/m²K |
| Châssis bois | Uf =0,73 W/m²K |

#### Châssis existant conservés (ancienne vitrine)

| | |
|---|---|
| Vitrage double | Ug = 1.7 W/m²K |
| Châssis bois | U f= 1.5 W/m²K |

#### Fenêtres de toit

| | |
|---|---|
| Vitrage double | Ug = 1,1 W/m²K |
| Châssis bois | Uf = 1,6 W/m²K |

#### Coupole de l'annexe

| | |
|---|---|
| Vitrage double | Ug = 1,4 W/m²K |
| Châssis bois | Uf = 2,2 W/m²K |

## Ponts thermiques

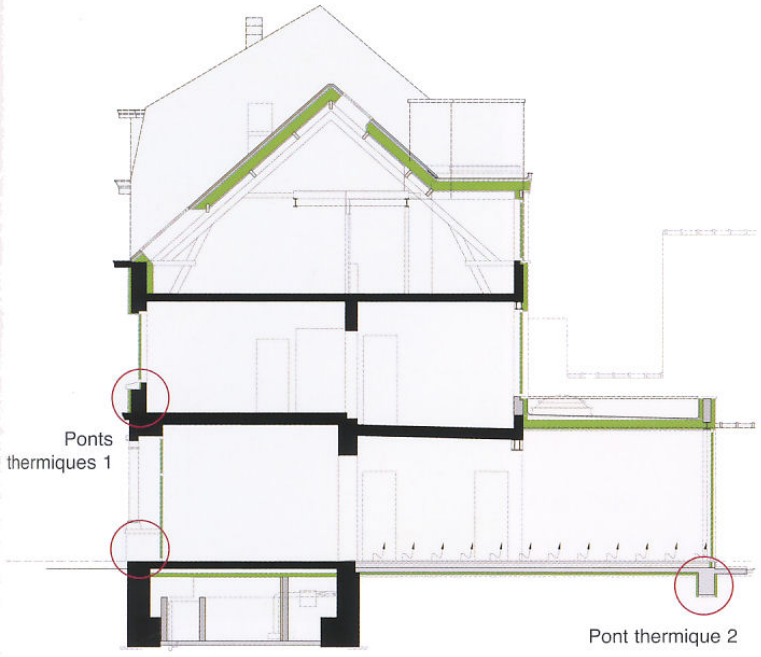
Pour les parties reconstruites : annexe et chien assis tous les ponts thermiques ont pu être réduits..

Dans les parois rénovées, plusieurs ponts thermiques n'ont pu être résolus, il s'agit :

- des murs mitoyens
- du raccord entre la nouvelle dalle du rez-de chaussée et les fondations
- des châssis à l'avant
- des seuils des ouvertures situées dans les maçonneries existantes.

La résolution de ces ponts thermiques aurait exigé la mise en œuvre de solutions techniques complexes et coûteuses que les architectes et les maîtres de l'ouvrage ont décidé de ne pas intégrer à la rénovation.

L'étanchéité à l'air des parties conservées (vitrines et porte d'entrée) ont exigé des travaux minutieux.



## Étanchéité à l'air

La réalisation de l'étanchéité à l'air du bâtiment a été prise en charge par les maîtres d'ouvrage qui ont mis en œuvre l'ensemble des finitions du bâtiment.

Les parties les plus délicates concernaient les éléments existants maintenus dans le projet à savoir :

- le carrelage du bureau (rez-de-chaussée) : tous les joints ont été refaits
- l'enduit dans pièces à l'avant : toutes les fissures ont été colmatées
- les liaisons entre la façade avant et les éléments de la structure des planchers
- pour améliorer l'étanchéité à l'air des murs mitoyens (non étanches), ceux-ci ont été enduits, y compris entre la dernière gîte et le mur lorsque c'était possible
- toutes les prises électriques dans les murs extérieurs ont été soigneusement colmatées.

L'étanchéité à l'air des menuiseries existantes a représenté un gros travail, principalement la vitrine de l'ancienne droguerie (rez-de-chaussée façade avant).

Un test d'étanchéité à l'air (blower door) a été réalisé avec la société Del Thermographie courant mars 2010 et les résultats, destinés à orienter les maîtres d'ouvrage sur d'éventuels travaux d'amélioration ont été très positifs : 0.97 vol/heure ce qui représente dans un projet de rénovation, un excellent résultat ! Des défauts au droit des charnières inférieures des châssis et de certains raccords des menuiseries de l'ancienne droguerie ont laissé apparaitre de légères fuites.

Test d'étanchéité à l'air (blowerdoor).

L'espace séjour au rez-de-chaussée est équipé d'un chauffage par le sol.

## Techniques spéciales

### Chauffage

- installation d'une chaudière à condensation (gaz) qui alimente un circuit de chauffage par le sol au rez-de-chaussée et un circuit de radiateurs à l'étage (anciens radiateurs surdimensionnés permettant de travailler à basse température)
- un poêle multi-combustible sera installé dans le bureau au rez-de-chaussée, côté rue

### Eau chaude sanitaire

- 4 m² de panneaux solaires ont été installés en toiture
- l'appoint sera assuré par la chaudière à condensation. Un boiler de 300 litres a été placé sous toiture

Espace technique.

Tranchée pour puits canadien.

### Ventilation

Elle est assurée par un système à double flux avec récupération de chaleur, dont l'air d'entrée est préchauffé par un puits canadien.

### Puits canadien

Pour préchauffer en hiver (et pré-refroidir en été) l'air entrant dans la maison tout en garantissant une qualité de cet air, le choix s'est porté sur un puits canadien à eau glycolée : des tuyaux remplis d'eau glycolée parcourent une centaine de mètres dans le jardin à 1,50 m de profondeur de manière à récolter les calories du sol ; par un échangeur, ces calories sont transmises à l'air pénétrant dans le volume habité par le système de ventilation.

Le puits canadien hydraulique a l'avantage d'utiliser des sections de tuyaux beaucoup plus petites (diamètre 3 cm), un meilleur échange entre le sol et l'eau glycolée, mais surtout, d'éviter le contact de l'air neuf (pulsé à l'intérieur de l'habitat) avec d'éventuelles zones de formation de bactéries (situation qui peut arriver dans un système de puits canadien aérien mal conçu).

## Expériences à partager

**L'importance de la qualité de mise en œuvre de l'étanchéité à l'air :**

outre l'étanchéité de la porte d'entrée réalisée par une entreprise, ce sont eux qui ont réalisé tous les travaux d'étanchéité à l'air du bâtiment. Cela a demandé énormément de temps et un travail de grande précision , largement récompensé par le résultat très positif du Blower Door.

**Certains détails auraient pu être plus aisés à réaliser :**

- structure de la toiture :l'étanchéité à l'air au droit des gîtes aurait été simplifiée si des bandes d'étanchéité avaient été placées avant leur pose.
- pour le plancher (lorsque les gîtes sont remplacées), il faut prévoir un espace entre le mur et la première gîte pour l'étanchéitié du mur
- l'inconnue qui est apparue sur l'étanchéité à l'air des anciennes maçonneries laisse penser qu'il serait plus efficace dès le début du projet de prévoir un plafonnage continu de toutes les maçonneries existantes formant l'enveloppe du volume protégé, y compris les murs mitoyens et surtout sur les parois des gaines techniques.
- le choix de maintenir les anciens conduits de cheminée (pour éviter des démolitions) n'était peut-être pas le bon : l'isolation et l'étanchéité à l'air des conduits ont sans doute été plus complexes que les démolitions.

**Démarches administratives pour l'isolation de la façade avant :**

Les nombreuses démarches effectuées par les maîtres de d'ouvrage et l'architecte pour l'isolation de la façade ont été très énergivores et en auraient découragé plus d'un. Les recours ne sont pas terminés et ils souhaitent aller jusqu'au bout en espérant participer à l'évolution des mentalités et des procédures pour de tels travaux, bientôt incontournables pour tous.

## Budget

Coût global : 240 000 € + postes en auto-construction

- déplacement des terres à l'arrière
- démolitions – évacuation avant chantier
- travaux de finitions : étanchéité à l'air, carrelages, peintures, tablettes de fenêtres, réalisation des caissons techniques, pose des portes, pose du plancher., enduits intérieurs en terre
- isolation de la cave

Beaucoup de travaux ont été réalisés par les maîtres d'ouvrage. Le coût total de la rénovation, incluant une estimation de 100 000 € pour les postes réalisés en auto-construction est évalué à 1345 € le m².

Primes à percevoir :

- prime "Bâtiments exemplaires" : 18 600 €
- primes à la rénovation : 31 000 €

Cellulose
Polystyrène expansé

Brique

# Maison à Saint Josse ...

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Maison de rapport divisée en appartements
Calendrier | Avril 2009 - Janvier 2010
Programme de la rénovation | Habitation unifamiliale (division en appartements possible)
Besoins en chauffage avant travaux | de 200 à 300 kWh/m² par an
Besoins en chauffage après travaux | 26 kWh/m² par an
Surface de référence énergétique | 212 m²
Budget des travaux | 1550 €/m²
Etanchéité à l'air | test à réaliser hypothèse 3 Vol/h

## Particularités du projet

Gestion des ponts thermiques en façade avant (planchers ouverts pour isoler les gîtes)

## Difficultés rencontrées

Difficulté de trouver une entreprise ayant de l'expérience pour un projet ayant des exigences en terme d'isolation renforcée et très bonne étanchéité à l'air.

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Mr Lagrange - Mme Cerrato
Conception | Gérome Forthomme Brouae snc architecture & énergie
Étude énergétique | Brouae snc

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols |
Isolé entre gîtes (cellulose)
U = 0.21 W/m²K – R = 4.76 m²K/W
Sol annexe (PUR projeté)
U = 0.243 W/m²K – R = 4.11 m²K/W
Murs |
Façade avant isolée par l'intérieur (PUR)
U= 0.329 W/m²K – R = 3.03 m²K/W
Façade arrière isolée par l'extérieur (EPS)
U= 0.257 W/m²K – R = 3.89 m²K/W
Toitures |
Toiture inclinée (cellulose) : 0.197 W/m²K - R = 5.07 m²K/W
Toiture annexe (PUR) : 0.199 W/m²K – R = 5.02 m²K/W

## Châssis et vitrages

Châssis bois - aluminium : Uf=0.95 W/m²K
Triple vitrage : Ug= 0.6 W/m²K

## Chauffage

Chaudière gaz à condensation

## Eau chaude sanitaire

Production via boiler 200 litres connecté à la chaudière
Possibilité de raccorder un chauffe-eau solaire

## Ventilation

Système D double flux avec récupération de chaleur - rendement échangeur 91%

## D'un projet de rénovation...

En 2008, les maîtres d'ouvrage, qui occupaient depuis 2006 un appartement à Uccle, ont commencé la recherche d'un nouveau lieu de vie plus spacieux, plus proche du centre de Bruxelles et disposant d'un jardin.

Le choix de la commune s'est vite imposé : au critère de centralité, recherché pour pouvoir se passer de l'usage quotidien de la voiture, s'ajoutaient des critères éliminatoires telles que l'inaccessibilité financière, le manque d'espace public, les nuisances sonores... C'est donc à Saint Josse qu'ils ont concentré leurs visites.

Ils ont acquis en avril 2008, rue de Liederkerke, un immeuble datant de 1850. Celui-ci nécessitait une rénovation lourde que les maîtres d'ouvrage avaient prévu de réaliser en deux temps :

- dans un premier temps les travaux strictement nécessaires pour pouvoir occuper la maison
- après un an de vie (et donc une meilleure connaissance du lieu), la réalisation de travaux complémentaires

Au départ, la rénovation ne visait pas un objectif énergétique spécifique. Les attentes des maîtres d'ouvrage concernaient surtout une rénovation contemporaine de qualité et respectueuse des éléments anciens du bâtiment (hauts plafonds, moulures intérieures, volumes ...) intégrant autant que possible des matériaux écologiques.

## ... à un projet très basse énergie

C'est en consultant leur architecte, G. Forthome du bureau Brouae que la question de l'objectif énergétique a été abordée. Spécialisé dans le domaine de l'énergie, l'architecte terminait à cette époque la rénovation de son appartement basse énergie.

La formation d'ingénieur civil du maître d'ouvrage lui a permis de rentrer rapidement dans le jargon de la performance énergétique des bâtiments ; jargon souvent considéré comme un frein à la discussion car peu accessible.

Les maîtres d'ouvrage ont été rapidement convaincus de l'intérêt d'intégrer à leur programme un objectif énergétique ambitieux. La question était de trouver le niveau à atteindre tout en restant dans le budget prévu. Les premières simulations dans le programme phpp et la recherche des primes leur permettant de financer les surcoûts liés à une isolation renforcée ont abouti à un premier objectif déjà ambitieux de 45 kWh/m² par an.

Pour des questions de calendrier, le projet n'a pas été proposé lors du premier appel à projet « bâtiments exemplaires » lancé en septembre 2008. Pour atteindre ce premier objectif énergétique, un constat s'imposait : celui de devoir se lancer dès la première étape de la rénovation dans de gros travaux. Habiter la maison et ensuite la rénover petit à petit n'allait pas leur permettre de rénover l'enveloppe du bâtiment ; certaines interventions nécessitaient en effet d'importantes modifications intérieures (façade avant isolée par l'intérieur, toiture inclinée à remplacer, toiture de l'annexe, sol sur cave, ...).

Façade arrière avant travaux
et vue du jardin.

L'aventure prenait donc un tout autre rythme que celui imaginé au départ. Les maîtres d'ouvrage ne regrettent absolument pas ce tournant.

Cet objectif a été au fur et à mesure amélioré et ce, principalement en adaptant les épaisseurs d'isolation au maximum techniquement réalisable. Le surcoût lié au matériau était en effet dérisoire par rapport aux gains potentiels induits par quelques centimètres d'isolant ajoutés.L'objectif atteint est de 26 kWh/m² si l'hypothèse du niveau d'étanchéité de 3 vol/h est confirmé.

## Descriptif de la rénovation

### Situation de départ

La maison est un bâtiment deux façades sur 4 niveaux dont un espace en comble et un grenier. Presque tout le rez-de-chaussée du volume principal est sur cave. La façade avant en briques est revêtue d'un cimentage fausses briques datant des années 1950 que les maîtres d'ouvrage souhaitaient maintenir. La façade à rue est orientée au sud-ouest et comporte un petit balcon en pierre bleue. À l'arrière, une annexe principale sur deux niveaux prolongeait les pièces de vie, une petite annexe en mauvais état sur un niveau remplissait l'espace entre l'annexe principale et le mur mitoyen, laissant aux niveaux supérieurs une dent creuse fort sombre.

Avant l'achat, cette maison était divisée en plusieurs logements très peu équipés : pas de chauffage central, sanitaires vétustes dans les communs, électricité à refaire complètement. La charpente était en très mauvais état.

### Conception architecturale

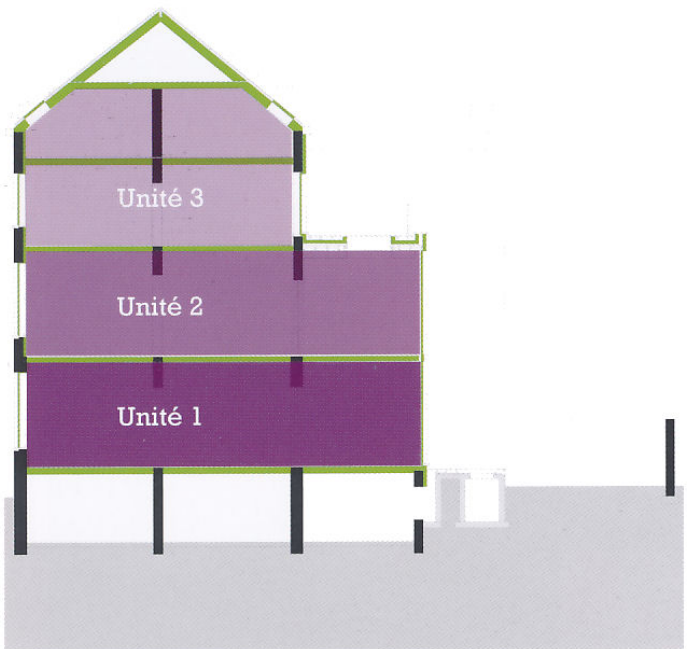
Afin de supprimer la dent creuse à l'arrière et surtout d'améliorer la compacité du bâtiment, la petite annexe a été démolie et l'annexe principale (sur deux niveaux) a été percée de deux grandes baies latérales pour prolonger le volume jusqu'au mitoyen, remplaçant la dent creuse par un châssis fixe sur toute la hauteur de l'ancienne annexe. Outre ce changement de volume à l'arrière, l'intervention architecturale concernait l'amélioration des performances énergétiques de l'enveloppe du volume chauffé et la réorganisation des espaces.

En cours de projet, les maîtres d'ouvrage ont décidé d'adapter les choix techniques de manière à pouvoir diviser à moyen terme la maison en 3 appartements, dont un duplex. Une attention particulière a été apportée au choix de matériaux écologiques pour les finitions (enduits et peintures à la chaux et écologiques). La présence des équipements techniques à tous les niveaux (inhérents à l'objectif énergétique du projet et à la possibilité de diviser le logement en appartements) a été prise en compte lors de la conception des aménagements intérieurs : un ensemble de meubles en bois réalisés sur mesure se prolonge harmonieusement à chaque étage en habillage des techniques.

Afin de bénéficier de la bonne orientation de la façade avant, les espaces de vie ont été répartis sur les deux premiers étages

- bureau, cuisine et salle à manger au rez-de chaussée
- salon et pièce télé au premier étage

La toilette au rez-de-chaussée est hors du volume protégé.

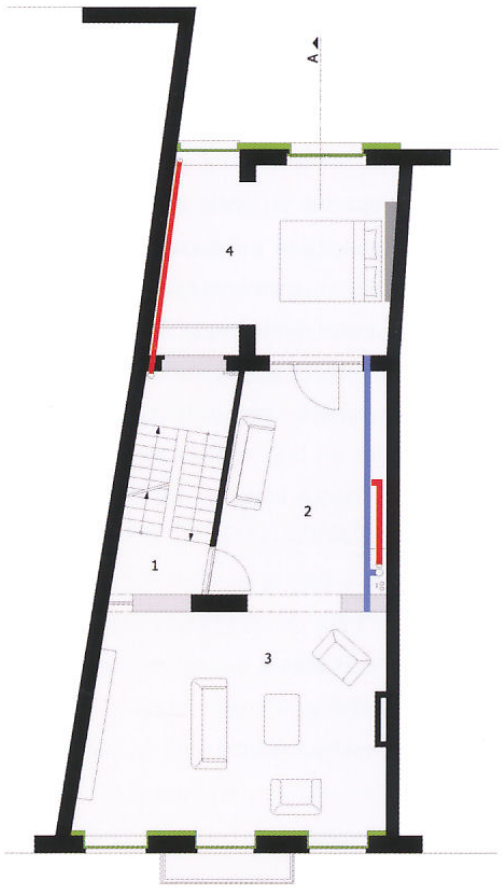


La maison peut être divisée en 3 unités.

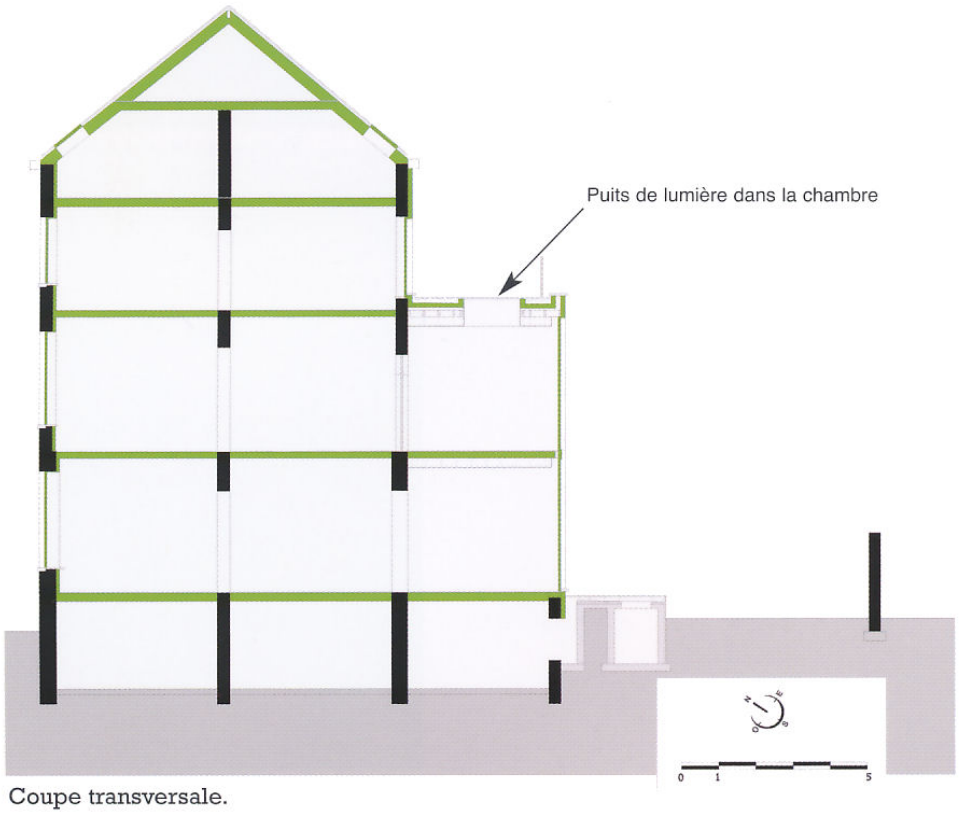
Vues intérieures avant travaux.

Espace technique dans un habillage en bois dans la cuisine.

Rez-de-chaussée : 1. Entrée – 2. Cuisine
3. Salle à manger – 4. Bureau – 5. Accès cave.

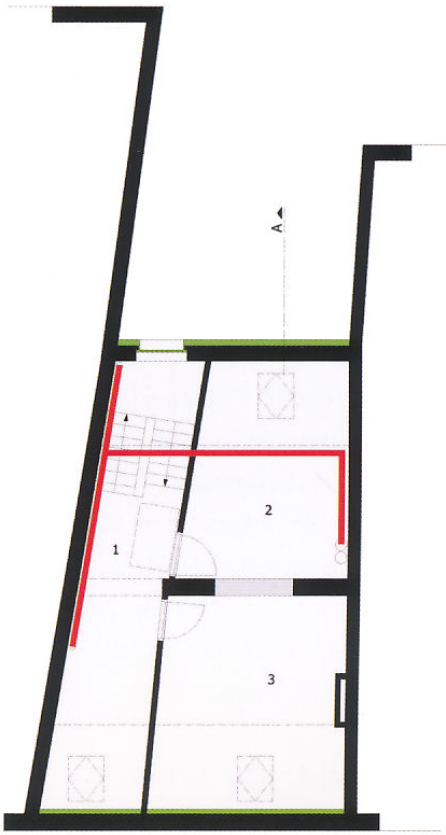



1er étage : 1. Circulation – 2. Séjour
3. Séjour - 4. Chambre.




Coupe transversale.

2e étage : 1. Circulation – 2. Salle de bain - 3. Chambre - 4. Rangement.




3e étage : 1. Circulation – 2.3. Chambres.

Puits de lumière dans la chambre.

Vue sur le rez-de-chaussée.

# Amélioration de l'enveloppe

## Composition des parois rénovées

### Murs isolés par l'intérieur (façade sur rue)

L'alignement de la façade avant avec les maisons voisines et l'envie des maîtres d'ouvrage de maintenir l'esthétique extérieure ont dicté le choix de recourir à une isolation par l'intérieur. C'est aussi pour maintenir le caractère de l'époque que les maîtres d'ouvrage ont décidé d'adapter les moulures du plafond pour que la surépaisseur de l'isolation du mur ne dénature pas l'esprit d'origine de ces décorations.

Les gîtes du plancher des étages (rez+1 et rez+2) s'appuient sur la façade avant. Afin de réduire les ponts thermiques que chaque gîte représentait, les planchers ont dû être ouverts par le dessus et les gîtes et les panneaux isolants en façade prolongés jusqu'au plafonnage du niveau inférieur.

Ouverture du plancher pour couper les ponts thermiques au droit des gîtes du plancher et remise à niveau de la 2de pièce.

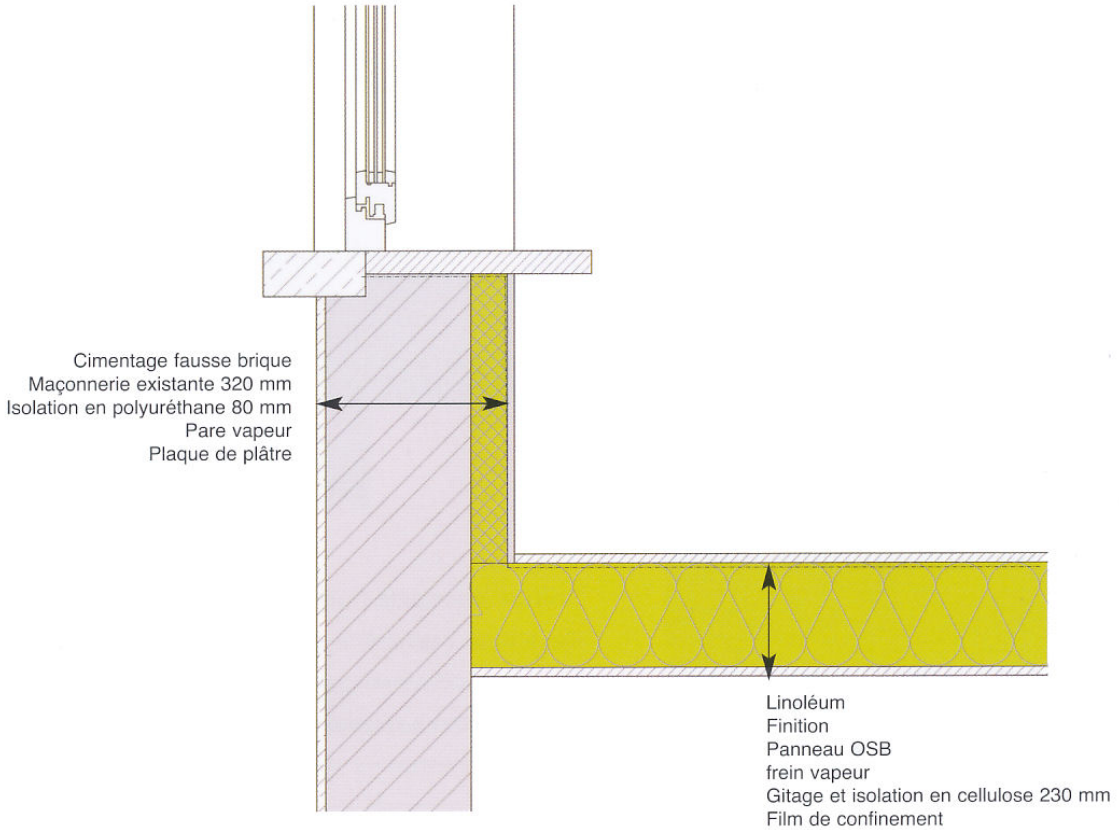
**Façade sur rue (isolation par l'intérieur)**

| | |
|---|---|
| Cimentage fausses briques | 1 cm |
| Maçonnerie | 32 cm |
| Isolation polyuréthane | 8 cm |
| Pare vapeur | |
| Plaque de plâtre | 1,5 cm |
| **U = 0.329W/m²K** | **42,5 cm** |

Pour maintenir les éléments de caractère de la façade et l'alignement avec les voisins, la façade avant a été isolée par l'intérieur.

Les moulures du plafond ont été adaptées à la surépaisseur de l'isolation intérieure.

Détail du raccord du plancher rez-de-chaussée sur cave et façade avant.



Façade sur rue avant isolation.

Intérieur du 1er étage côté rue.

Façade arrière isolée par l'extérieur (crépi sur isolant).

### Cloisons vers cave

| | |
|---|---|
| Plaque de plâtre | 1 cm |
| Frein vapeur | |
| Isolation en flocons de cellulose | 8 cm |
| Plaque de plâtre | 1 cm |
| **U = 0.546 W/m²K** | **10 cm** |

### Façade arrière (isolation par l'extérieur)

Les murs de l'annexe principale et du volume principal au rez+2 n'ayant aucune valeur esthétique et nécessitant une rénovation, ils ont été isolés par l'extérieur.

| | |
|---|---|
| Enduit isolant | 1 cm |
| Isolation en polystirène expansé | 12 cm |
| Maçonnerie | 32 cm |
| Plafonnage | 1,5 cm |
| **U = 0.257 W/m²K** | **46,5 cm** |

Seuil de la porte fenêtre en attente (accès à la toiture plate-terrasse).

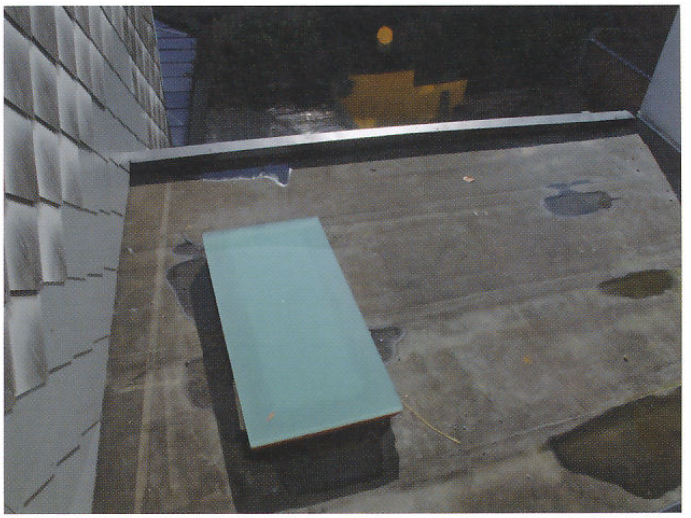
### Toiture principale (inclinée)

La toiture devait être complètement remplacée : la nouvelle structure a été surdimensionnée de manière à pouvoir recevoir une importante couche d'isolation et les panneaux solaires.

| | |
|---|---|
| Tuiles | |
| Lame d'air ventilée lattage | 5 cm |
| Sous toiture- panneau de fibres de bois | 2,2 cm |
| Isolation en flocons de cellulose | 22,5 cm |
| Frein vapeur | |
| Plaque de plâtre | 1 cm |
| **U = 0.197 W/m²K** | **26,6 cm** |

Finition en cours sur rampant de toiture au 3e étage.

Isolation de la trappe du grenier.



Toiture plate de l'annexe.

### Toiture de l'annexe (plate)

La toiture de l'annexe principale a été prolongée jusqu'au mur mitoyen supprimant la dent creuse et améliorant la compacité du bâtiment. Une nouvelle isolation (incompressible) et une étanchéité en Derbigum ont été placées de manière à pouvoir accueillir ultérieurement un revêtement de terrasse.

| | |
|---|---|
| Etanchéité | 1 cm |
| Isolation en polyuréthane | 12 cm |
| Panneau OSB | 2,2 cm |
| Gîtage - lame de l'air non ventilée | 23 cm |
| Plaque de plâtre | 1,25 cm |
| **U = 0.199 W/m²K** | **39,45 cm** |

Eléments de la nouvelle toiture.

## Sols

### Plancher sur caves

Pour des raisons évidentes de rationalité du projet, les caves ont été exclues du volume protégé. Le maître d'ouvrage, désireux d'obtenir une surface aisée à nettoyer, ne voyait pas d'inconvénient à ce que le sol des pièces de vie en enfilade du rez-de-chaussée constitué d'un plancher en Pitchpin soit évacué. Ce choix simplifiait largement la réalisation de l'isolation et de l'étanchéité à l'air du sol sur caves. Le plafond de la cave a pu être conservé. Un film de confinement a été posé en vague sur les gîtages et de la cellulose a été versée en vrac dans les caissons ainsi réalisés. Un OSB est venu recouvrir le tout pour avoir une surface plane pour la finition et obtenir un frein-vapeur de qualité. Les finitions au droit des plinthes ont été colmatées à l'aide de bandes d'étanchéité à plafonner pour rendre le bâtiment étanche vers les caves.

| | |
|---|---|
| Plafond en plâtre | 2 cm |
| Gîtage - isolation en flocons de cellulose | 23 cm |
| Panneau OSB | 2,2 cm |
| Linoléum | 1 cm |
| **U = 0.210 W/m²K** | **28,2 cm** |

### Plancher de l'annexe

Le sol de l'annexe (sur sol) a été isolé par le dessus.Une réservation pour un convecteur a été prévue au droit de la fenêtre

| | |
|---|---|
| Dalle béton | 12 cm |
| Isolation en polyuréthane | 10 cm |
| Chape | 7 cm |
| Carrelage | 1 cm |
| **U = 0.243 W/m²K** | **30 cm** |

### Portes et fenêtres

Tous les châssis ont été remplacés et sont équipées de triple vitrage

- les fenêtres de toiture sont en châssis bois avec capot aluminium
- les autres châssis de conception passive sont en bois avec recouvrement aluminium pour une facilité d'entretien
- la porte d'entrée est de composition basse énergie, avec imposte en triple vitrage et a été conçue pour une parfaite étanchéité à l'air avec la pose d'un seuil suisse avec une frappe étanche.

| | |
|---|---|
| Chassis bois - aluminium avec espaceur "swisspaceur" | Uf = 0.95 W/m²K |

| | |
|---|---|
| Triple vitrage facteur solaire 0,52 | Ug = 0.6 W/m²K |

Les nouveaux châssis sont des châssis bois – alu avec triple vitrage.

La porte d'entrée est de type basse énergie, munie de triple vitrage et d'un seuil suisse garantissant une parfaite étanchéité à l'air.

## Ponts thermiques

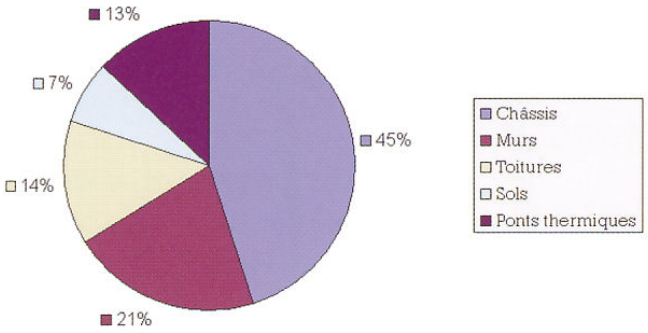
Une grande attention a été portée à la gestion des ponts thermiques, principalement liés aux éléments existants.

### Pont thermique 1 : structure des planchers dans la façade avant

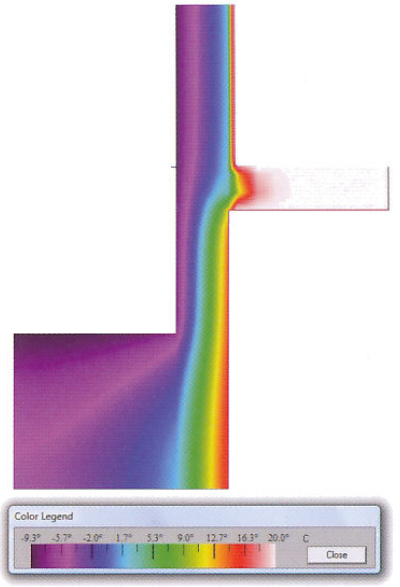
Comme nous l'avons décrit plus haut, la structure des planchers ancrée dans la façade avant présentait un pont thermique.
Ce pont thermique a été évalué à 0,343 W/m.K. Tout a été fait sur chantier pour isoler les gîtes sans les démonter. On peut donc considérer que ce pont thermique a été atténué mais il semble difficile d'en chiffrer de manière réaliste la valeur actuelle. Ce pont thermique n'est pas négligeable mais le risque de point froid est fortement diminué grâce à la continuité de l'isolation du coté intérieur et la pose du pare vapeur bien réalisée.

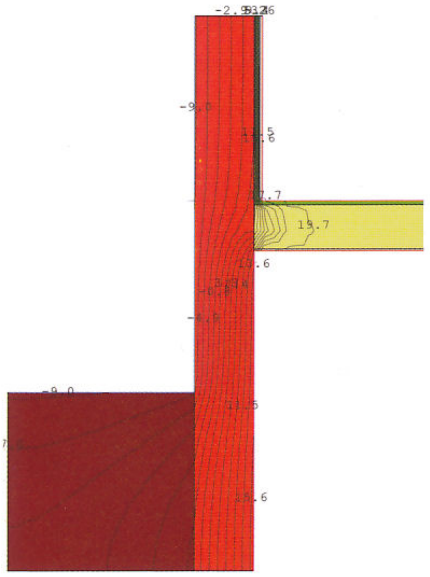
### Pont thermique 2 : dalle du rez-de chaussée vers le jardin

Ce pont thermique a été partiellement résolu - voir détail dans la description « mur isolé par l'extérieur ». L'isolation de la façade arrière est interrompue au droit des ouvertures par le seuil en pierre bleue. Une coupure thermique a été réalisée sous le châssis, réduisant le pont thermique à une valeur de 0,1 W/m.K.

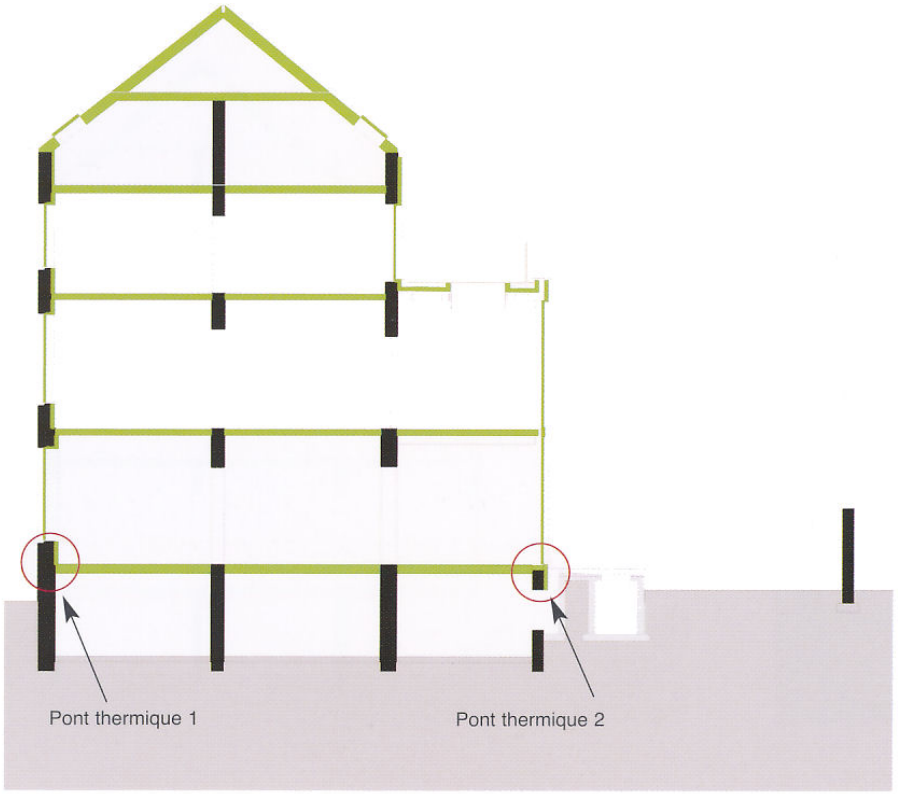



Répartition des déperditions par conduction (%).



Représentation dans le logiciel THERM du pont thermique 1 qui représente le plancher en cellulose du rez-de-chaussée au droit de la façade avant.



**Pont thermique 3 : châssis fixe façade arrière en contact avec les murs mitoyens**

Ce pont thermique est toujours présent, pour une question de budget l'isolant n'a pas été placé sur le mur mitoyen.

Valeur du pont thermique sans isolation : 0.6 W/m.K

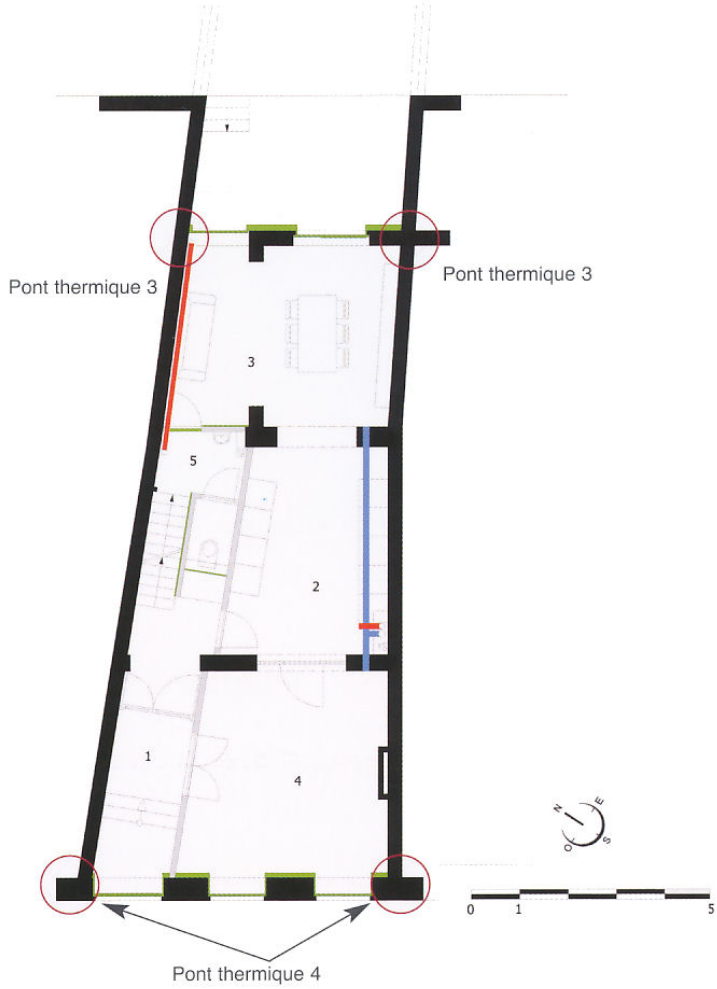
Valeur du pont thermique avec isolation de 8 cm (présenté sur le schéma) : 0.031 W/m.K

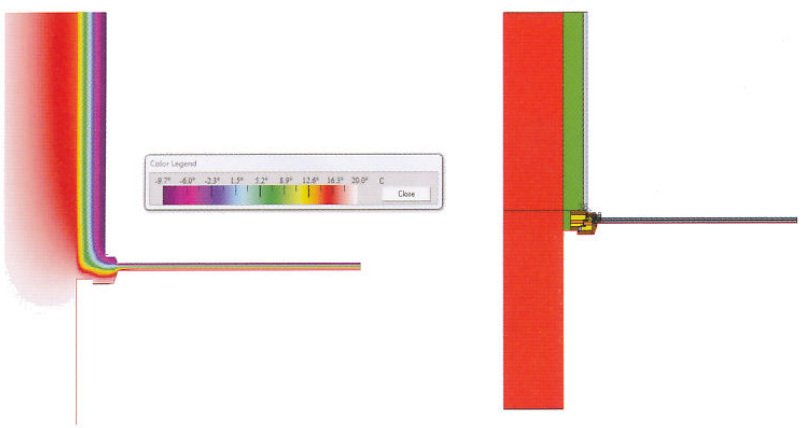
**Pont thermique 4 : liaisons avec les murs mitoyens (façade avant)**

Les maisons voisines étant chauffées et l'objectif énergétique défini avec les maîtres d'ouvrage étant atteint, nous n'avons pas opté pour l'isolation des murs mitoyens dans ce projet. Les ponts thermiques ont été calculés au droit des jonctions avec les murs de façade.

Valeur estimée à 0,104 W/m.K.

Pour information, l'ensemble des ponts thermiques du projet qui ont été calculés représente 13% liés aux déperditions énergétiques. D'où l'importance, dès que l'on commence à isoler convenablement de les identifier et de les minimiser.La température des ponts thermiques a été calculée pour ne pas obtenir de condensation à l'intérieur.



Étude du pont thermique avec mur mitoyen
(façade arrière – mitoyen gauche au niveau du châssis fixe).

## Étanchéité à l'air

**L'étanchéité à l'air de la toiture** a été réalisée à deux niveaux

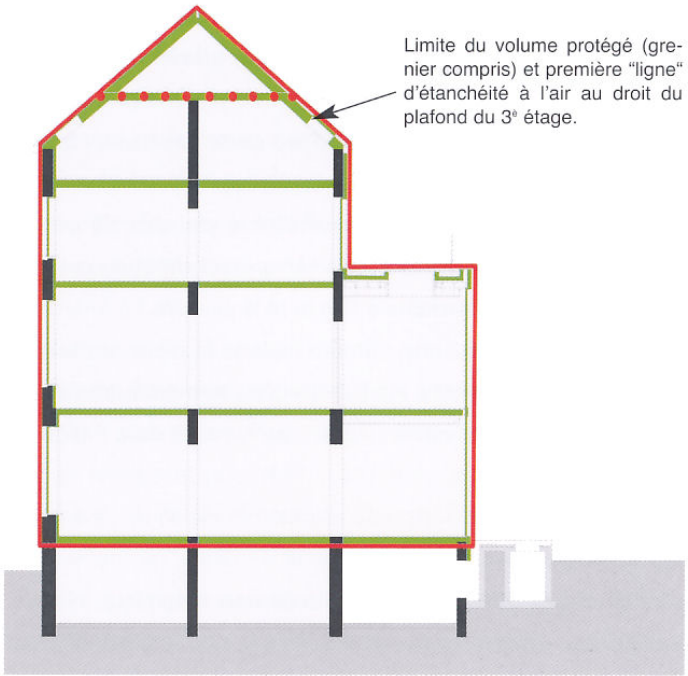
- au droit du plafond du grenier : le grenier est dans le volume protégé et accueillera le groupe de ventilation.
- au droit du plafond du second étage pour garantir la meilleure étanchéité à l'air possible.

Le plancher du grenier a aussi été isolé pour garantir le confort acoustique des chambres (le groupe de ventilation se trouve juste au-dessus).

**L'étanchéité à l'air du sol du rez-de-chaussée**

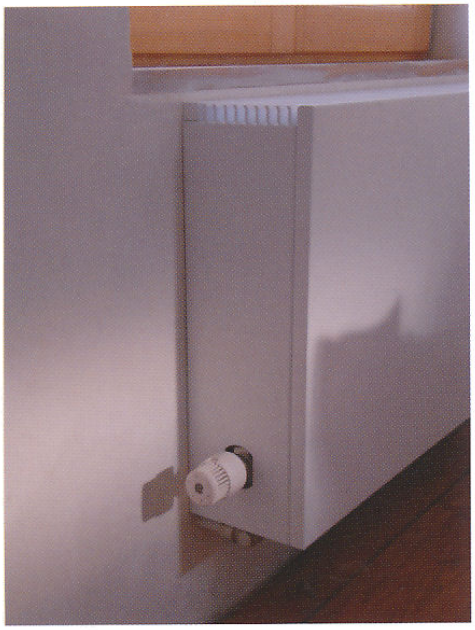
L'ancien plancher à été remplacé par des panneaux d'OSB assurant la bonne étanchéité à l'air. Au niveau du raccord sol – cloisons et sol - façade avant : une bande d'étanchéité à l'air a été collée sur la face inférieure des panneaux OSB en contact avec les murs pour resserrage dans le plafonnage et donc garantir une parfaite étanchéité à l'air.

**L'étanchéité à l'air des châssis** a été assurée par la pose de bande Pro Climat avec filet à enduire.



Passage de la gaine technique.

Le châssis de la façade arrière est en contact direct avec le mur mitoyen : il a été recouvert de 12 cm de PUR.



Convecteur muraux.

Groupe de ventilation dans les combles. Pour garantir la bonne étanchéité à l'air de cet espace, la liaisons maçonnerie/toiture a été plafonnée.

## Techniques spéciales

### Chauffage et eau chaude sanitaire

L'immeuble ne comportait par d'installation de chauffage central : deux chauffe-eau et des convecteurs au gaz équipaient les logements existants.

Une nouvelle installation gaz à condensation a été placée en cave. Tous les tuyaux véhiculant de l'eau chaude ont été isolés, un ballon d'eau chaude sanitaire compatible pour de futurs panneaux solaires a été prévu. Chaque niveau est relié indépendamment à la chaudière de manière à permettre la séparation de l'immeuble en plusieurs appartements dans quelques années et donc à permettre le placement de calorimètres et débitmètres au départ de chaque circuit.

Afin de réduire la quantité d'eau du système, les radiateurs classiques ont été remplacés par des convecteurs muraux ou en canal isolés intégrés dans le sol. Un thermostat d'ambiance pourra être installé à chaque étage pour commander les circulateurs de manière indépendante en cas de division.

Convecteur en canal dans l'annexe.

### Ventilation

Un groupe de ventilation double flux avec récupération de chaleur à flux transversal a été installé dans le grenier.

Rendement échangeur 91%.

Rendement calculé avec PHPP : 68% à cause des tuyaux traversant le grenier (situés dans le volume protégé mais non chauffé).

Les techniques de ventilation traversent le plancher du grenier au droit d'un OSB carotté au diamètre exact de chaque tuyau pour obtenir une étanchéité à l'air la plus parfaite.

Au niveau des étages, une colonne traverse la pièce centrale au droit du mur mitoyen et a été habillée par des menuiseries qui se confondent avec les meubles réalisés sur mesures dans différents espaces.

### Récupération des eaux de pluie

Une citerne de 2500 litres a été placée sous la terrasse.

Les travaux nécessaires au placement de la citerne d'eau de pluie ont été l'occasion de placer un isolant en polystyrène extrudé contre le mur extérieur et ce, jusqu'à 50 cm de profondeur.

La citerne de récupération des eaux de pluie a été placée sous le sol de la terrasse.

Citerne pour l'eau de pluie.

## Expériences à partager

Le cahier des charges du projet a été transmis à 4 entreprises, dont 3 ont remis leur prix : une avait de l'expérience en éco-rénovation mais son planning était surchargé et 2 entreprises traditionnelles.

Un chantier où les exigences en matière de performance énergétique sont très pointues (qualité de la mise en œuvre des isolations, qualité de l'étanchéité à l'air) exige de l'entreprise une compréhension de l'objectif à atteindre et une motivation réelle. L'intégration dans le contrat d'objectifs de résultats (comme un niveau d'étanchéité à l'air) peut être un moyen de concrétiser le fait que l'entreprise soit partie prenante de l'objectif énergétique du projet. Dans ce projet, le contrat n'intégrait pas d'obligations de résultat mais l'architecte a rappelé les exigences liées à l'objectif énergétique dans tous les procès verbaux de réunions de chantier. Il a proposé de financer le Blower door pour démontrer aux entrepreneurs qu'un objectif ambitieux en matière d'étanchéité à l'air peut être atteint en rénovation.

Une autre particularité d'un chantier basse énergie réside dans le besoin de matériaux spécifiques pour lesquels il est parfois très difficile d'obtenir des offres : il a par exemple été difficile de trouver un fabriquant pour réaliser la porte d'entrée de composition passive au vu de ses dimensions de maison de maître.

Concernant les matériaux écologiques, les maîtres d'ouvrage ont dû faire quelques concessions notamment en utilisant des isolants traditionnels car les matériaux écologiques étaient significativement plus chers, les entrepreneurs ne connaissent pas ces matériaux et prévoient plus de main d'œuvre. Il est difficile d'avoir des renseignements complets, centralisés et locaux. Cependant le fermacell a été utilisé pour les habillages des plafonds.

**Importance de la coordination du chantier**

Que la coordination soit prise en charge par un entrepreneur général, par l'architecte ou par le maître d'ouvrage, il faut ne pas sous-estimer la surcharge du travail de coordination que représente un chantier basse énergie. Cette surcharge par rapport à un chantier classique est liée principalement à la nécessité absolue que chaque intervenant soit au courant de l'objectif énergétique et surtout, des exigences liées à cet objectif.

## Budget

Le budget total de la rénovation s'élève à 330 000 € hors honoraires architectes et ingénieur.

Soit 1550 € HTVA/m².

Comme nous l'avons précisé, les primes accessibles pour cette rénovation ont encouragé les maîtres d'ouvrage à renforcer l'objectif énergétique du projet.

- les primes régionales à la rénovation et les primes énergie ont permis de récupérer près de 18 000 €
- la prime octroyée par la commune s'élève à près de 1 000 €
- des déductions fiscales ont permis de récupérer 5 300 €

Cellulose | Pierre

# Maison à Virton

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Grange et écurie
Calendrier | Début 2008 - Début 2011
Programme de la rénovation | Habitation unifamiliale de 4 chambres
Besoins en chauffage avant travaux | de 200 à 300 kWh/m² par an
Besoins en chauffage après travaux | 21 kWh/m² par an
Surface de réf. énergétique | 382 m²
Budget des travaux | 1000 €/m²
Etanchéité à l'air | test à réaliser - hypothèse 1,5 vol/h

## Particularités du projet

Auto-conception et auto-construction (sauf charpente)

## Difficultés rencontrées

Délais imposés par les sous-traitants et temps nécessaire à la réalisation de l'étanchéité à l'air

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Marc & Amaryllis (http://unegrangeengaume.be)
Étude énergétique | EcoRce
Conception | Marc PONCIN (maître d'ouvrage agissant comme architecte par dérogation)

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols |
Dalle de sol isolée (PUR)
U=0.13 W/m²K - R=7.81 m².K/W
Murs |
Isolés par l'intérieur (cellulose)
U=0,146 W/m²K - R=6.84 m².K/W
Isolés par l'extérieur (cellulose)
U=0, 173 W/m²K - R=5.78 m².K/W
Toitures |
U=0,11 W/m².K - R=9.09 m².K/W
Isolée par l'intérieur (cellulose)

## Châssis et vitragess

Châssis bois et aluminium
Uf=0.88 W/m².K - R=1.13 m².K/W
Triple vitrage (y compris fenêtres de toit)
Ug=0.7 W/m²K - R=1.42 m²K/W

## Chauffage

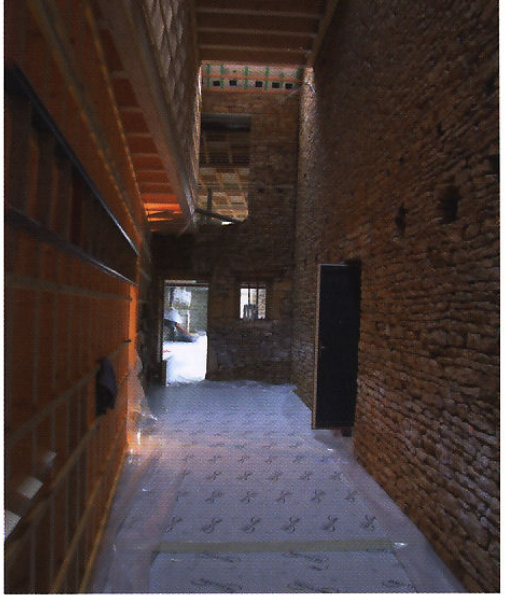
Capteurs solaires thermiques - appoint électrique
Poêle à bois

## Eau chaude sanitaire

Solaire et appoint électrique

## Ventilation

Double flux avec récupération de chaleur + puits canadien



## D'un projet de rénovation...

Depuis 2005, les maîtres d'ouvrage de ce projet étaient à la recherche d'un nouveau lieu de vie qui pourrait accueillir confortablement leur petite famille ; la maison qu'ils occupaient depuis 2001 devenait trop petite et un second enfant allait arriver.
Le principal critère de recherche de ce futur lieu était leur désir de s'impliquer fortement dans sa réalisation car ils "baignaient" dans une culture de l'auto-construction. Les parents de Madame avaient mené une telle expérience dans le passé et de manière générale, dans leur environnement familial, tout le monde avait l'habitude de mettre la main à la pâte plutôt que de "faire faire". Au-delà de la motivation à s'impliquer, cela représentait surtout pour eux des leviers indispensables pour se lancer dans un défi d'auto-construction: présence d'un précieux savoir-faire parmi leurs proches et accès aisé à tous les équipements indispensables sur un chantier.

Leur désir de s'impliquer dans le projet ne s'arrêtait pas à la réalisation : la formation d'ingénieur civil du propriétaire allait lui permettre de prendre en charge sa conception, moyennant l'obtention de la dérogation prévue pour cela.
Leurs recherches étaient tournées autant vers des bâtiments existants à rénover que vers des terrains à bâtir. Au fur et à mesure des visites, ils ont pris conscience de leur goût pour de grands espaces et c'est souvent par des espaces de type "grange" qu'ils se sentaient attirés : créer un nouveau lieu de vie alliant l'âme d'une construction ancienne tout en laissant beaucoup de liberté pour des aménagements intérieurs contemporains. Souvent ce choix s'avérait impossible (grange en trop mauvais état ou ensemble agricole impossible à diviser et donc inaccessible financièrement). Le choix entre une rénovation ou une construction neuve n'était pas encore fait, ils attendaient le coup de cœur...

C'est dans un village voisin du leur, à proximité de Virton, qu'ils ont trouvé leur perle rare et acquis en septembre 2006 via une vente publique, la ferme dont nous allons vous présenter la rénovation. Il s'agit d'un ensemble architectural de près de 430 m² au sol qui a été divisé lors de la vente en deux propriétés distinctes :
- la première : une partie de la grange et une ancienne écurie utilisée jusqu'aux années 1990, destinée à devenir le logement dont il est question ici
- la seconde, l'ancien corps de logis de la ferme et l'autre partie de la grange seront rénovés ultérieurement et appartiennent à un autre propriétaire.
L'aventure commençait donc pour eux.

## … à un projet très basse énergie

La première année a été consacrée au déblayage du bâtiment, à la prise de mesures et à la conception. C'est en décembre 2007 que la demande de permis d'urbanisme a été faite. Nous allons retracer ici l'évolution du projet dans ses aspects spécifiquement liés au thème de l'énergie. Un blog très fourni et agréablement illustré permettra au lecteur de découvrir en détail tout le cheminement de leur projet.

Dès le départ, les maîtres d'ouvrage visaient une rénovation de qualité : durable dans le temps et intégrant des matériaux respectueux de l'environnement.
Après avoir défini l'organisation et les aménagements futurs des espaces, leur priorité a été de veiller au bon confort de leur future habitation. Rénover un espace destiné aux activités agricoles (grange et écuries) en logement allait demander de porter une attention toute particulière à l'isolation et à la bonne étanchéité à l'air.

L'activité du maître d'ouvrage (contrôleur technique en construction au Grand Duché de Luxembourg) s'est avérée très précieuse pour relever le défi de rendre l'enveloppe des deux bâtiments principaux performante sur le plan énergétique.
À ce stade du projet, l'objectif (purement intuitif) était d'atteindre des niveaux de performance énergétique pour chaque élément de l'enveloppe (toiture, sol, murs, fenêtres) deux fois plus stricts que ceux imposés par la réglementation (à l'époque la réglementation imposait un niveau K global K 55). C'est sur cette base qu'ont été réalisés les choix techniques pour le dossier de demande de permis d'urbanisme.

Étant donné les dimensions très importantes du volume à rénover et pour atteindre le niveau de qualité souhaité, le souhait de s'impliquer dans la construction se transformait en réel projet d'auto-construction ! Les premiers devis reçus pour le gros-œuvre ont en effet convaincu les maîtres de l'ouvrage (et leurs proches) de l'intérêt de prendre le plus possible de postes en charge sur le chantier.

Dans les mois qui suivent, les maîtres d'ouvrage participent à des visites de maisons passives et autres projets orientés très basse énergie et décident de renforcer l'isolation thermique de leur projet. Ils pressentent qu'entre l'objectif visé et les critères d'une maison passive (15 kWh/m² par an) le pas n'est peut-être pas si grand…

Parallèlement à ces réflexions, une discussion concernant la puissance de leur future chaudière avec un chauffagiste totalement sourd au fait que leur maison serait bien isolée confirme leur besoin de prendre du recul sur leur projet. Ils ressentent le besoin de faire appel à quelqu'un d'extérieur avant d'effectuer des choix définitifs et décident de se tourner vers un bureau d'étude spécialisé en énergie, le bureau EcoRce. La mission est double : vérifier l'objectif énergétique du projet tel que décrit dans la demande de permis d'urbanisme, et évaluer les efforts à réaliser pour atteindre les critères d'une maison passive.

Après vérification avec le logiciel phpp qui contrairement au calcul du K intègre les notions d'étanchéité à l'air et le calcul des ponts thermiques, le projet, amélioré depuis le dossier de demande de permis d'urbanisme, représente des besoins nets en chauffage de 41 kWh/m² par an, soit trois fois moins qu'une habitation respectant la règlementation en cours.

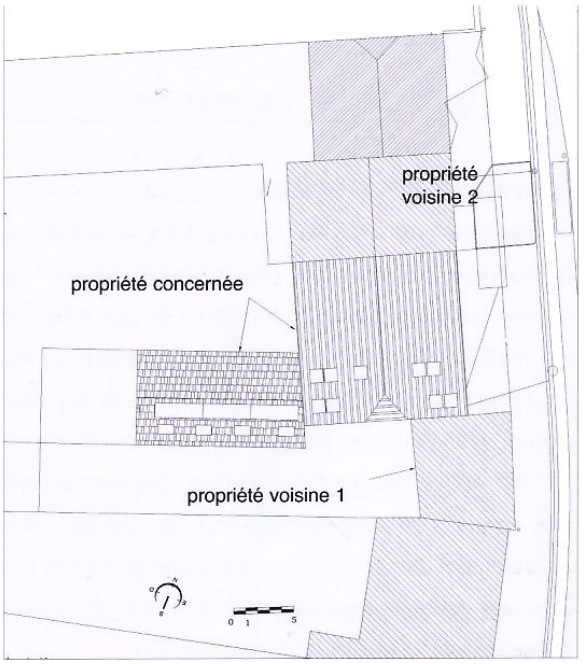
Pour renforcer encore cet objectif, 3 variantes sont proposées dont une complète visant les critères d'une maison passive. Il s'avère vite qu'étant donné la mauvaise orientation du bâtiment (la façade sud est un mur mitoyen totalement aveugle) et le nombre de ponts thermiques à gérer, l'objectif passif n'est pas raisonnable, compte tenu des investissements à réaliser.

C'est en juillet 2008 qu'une variante réaliste est définitivement adoptée et que les choix techniques du projet sont adaptés au nouvel objectif de 21 kWh/m² par an de besoins nets en chauffage. Les modifications concernent principalement les types de vitrage et les épaisseurs d'isolant.

Une fois les différents choix réalisés concernant l'enveloppe, il ne restait plus qu'à faire les choix concernant le chauffage, le tout formant un projet très cohérent qui pourrait se résumer de la manière suivante :

- une isolation extérieure là où c'est possible
- une grande inertie grâce aux murs en pierre conservés
- des châssis et des vitrages performants
- des parois respirantes
- un chauffage par le sol (basse température) au rez-de-chaussée
- le choix de matériaux écologiques

Comme on le découvre, l'évolution de l'objectif énergétique du projet n'est pas encore à son terme. Les maîtres d'ouvrage le disent eux-mêmes : "tant que le chantier est en cours, la recherche d'améliorations ne sera pas terminée". En mars 2010, période où certains choix concernant l'isolation du sol et des façades isolées par l'extérieur ne sont pas arrêtés, il semble possible d'atteindre les exigences d'un bâtiment passif ... à suivre sur le blog étant donné que le livre est publié avant la fin du chantier. Après avoir retracé le processus d'évolution de l'objectif énergétique qu'il nous semblait intéressant et enrichissant de détailler, les pages suivantes proposent de parcourir en détail cette rénovation.




Plan d'implantation.

Façade avant.

Vues des bâtiments avant travaux.

## Descriptif de la rénovation

### Situation de départ

Ferme construite en 1842, en moellons de calcaire spécifiques de la région. Ces moellons, dits "pierre de Gaume" sont connus comme étant une pierre très friable ; ce qui a facilité le travail des maîtres d'ouvrage pour différents travaux de modification des murs existants. Cette ferme est reprise au patrimoine monumental de la Wallonie, comme la plupart des fermes du village.
La rénovation dont il est question ici concerne la partie de gauche, de la limite mitoyenne jusqu'au portail central inclus. L'ensemble à rénover se compose d'une grange (à front de rue) et d'une écurie, perpendiculaire à la grange, complétés d'un appentis dont la toiture sera démolie.
Il s'agit de la seule modification qui sera faite au volume initial.

La grange côté rue est un volume étroit et haut sur deux niveaux ; l'entrait de la charpente traverse l'espace à environ 2,50 m de hauteur du niveau du sol de l'étage.
L'écurie (côté jardin) est un espace à deux niveaux, séparés par une dalle constituée de voussettes.

L'ensemble des toitures devait être refait. Concernant les charpentes :

- la charpente de la grange a été remplacée car l'entrait représentait une contrainte pour l'aménagement de l'espace aux étages
- la charpente de l'écurie (en sapin) était en très mauvais état et a été elle aussi remplacée
- la charpente de l'espace garage a été maintenue

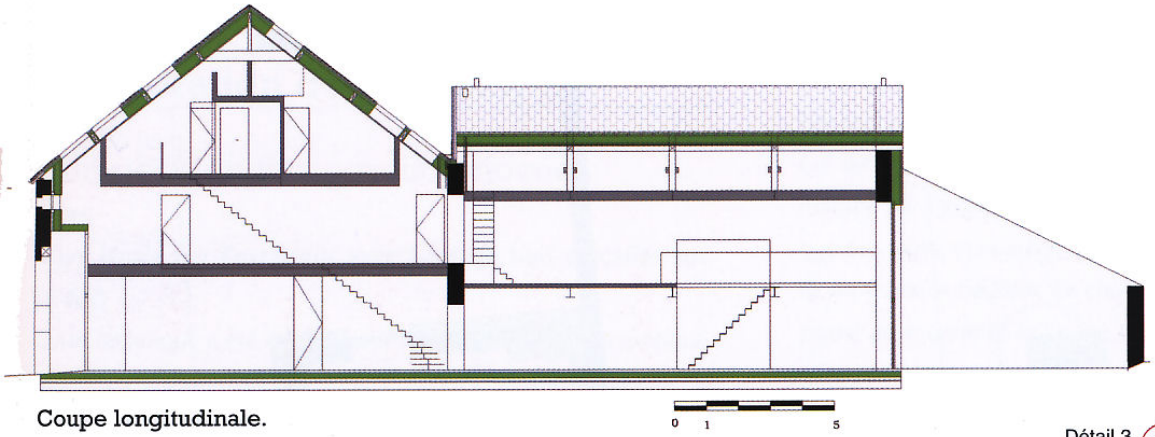
### Conception architecturale

Le projet a été conçu pour allier harmonie des espaces contemporains et volumes d'origine : en parcourant l'habitation, on lit aisément l'histoire de ces anciens bâtiments en matériaux massifs dans lesquels viennent s'insérer des "boîtes" en matériaux légers.
La façade avant a été maintenue (y compris la porte de grange) et la seule intervention sur le volume d'origine est la démolition de la toiture de l'appentis, côté jardin, ce qui a permis de créer une grande baie vitrée dans l'espace séjour.

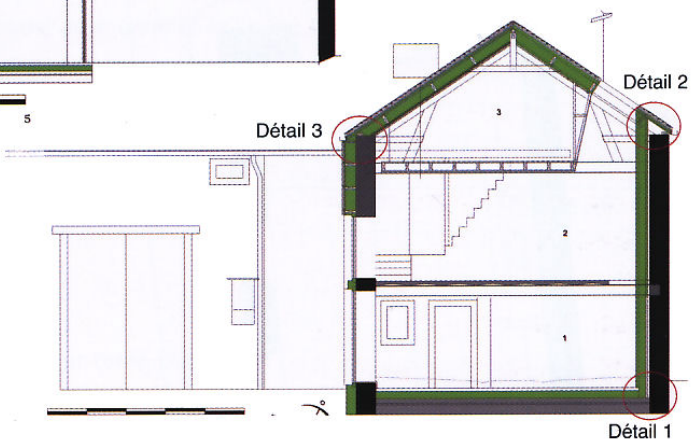
La grange avant travaux.

L'écurie avant travaux.

Le garage avant travaux.



Coupe longitudinale.




Coupe transversale.

**Le projet a été conçu en deux volumes distincts**

**Dans la grange**

- l'accès principal au logement + buanderie au rez-de-chaussée + local technique
- les espaces de nuit (4 chambres et 2 salles de bain) aux étages

Ce volume étant très fermé sur l'extérieur, les principales sources de lumière naturelle sont des fenêtres de toiture sur deux et trois niveaux. La création astucieuse de "chemins de lumière" a permis d'apporter énormément d'éclairage à l'intérieur du bâtiment tout en respectant l'aspect d'origine et en maintenant la façade avant telle quelle plutôt qu'en créant de nouvelles baies. Une coursive ouverte sur le couloir donne accès aux espaces de vie et dessert les différentes chambres organisées en 2 niveaux. Les 3 chambres au RDC+2 disposent toutes d'une mezzanine.

Le parti a été de maintenir dans la grange le grand mur en maçonnerie, très impressionnant lorsqu'on franchit l'entrée de la maison et très parlant sur le bâtiment d'origine (type de matériaux et volumétrie).

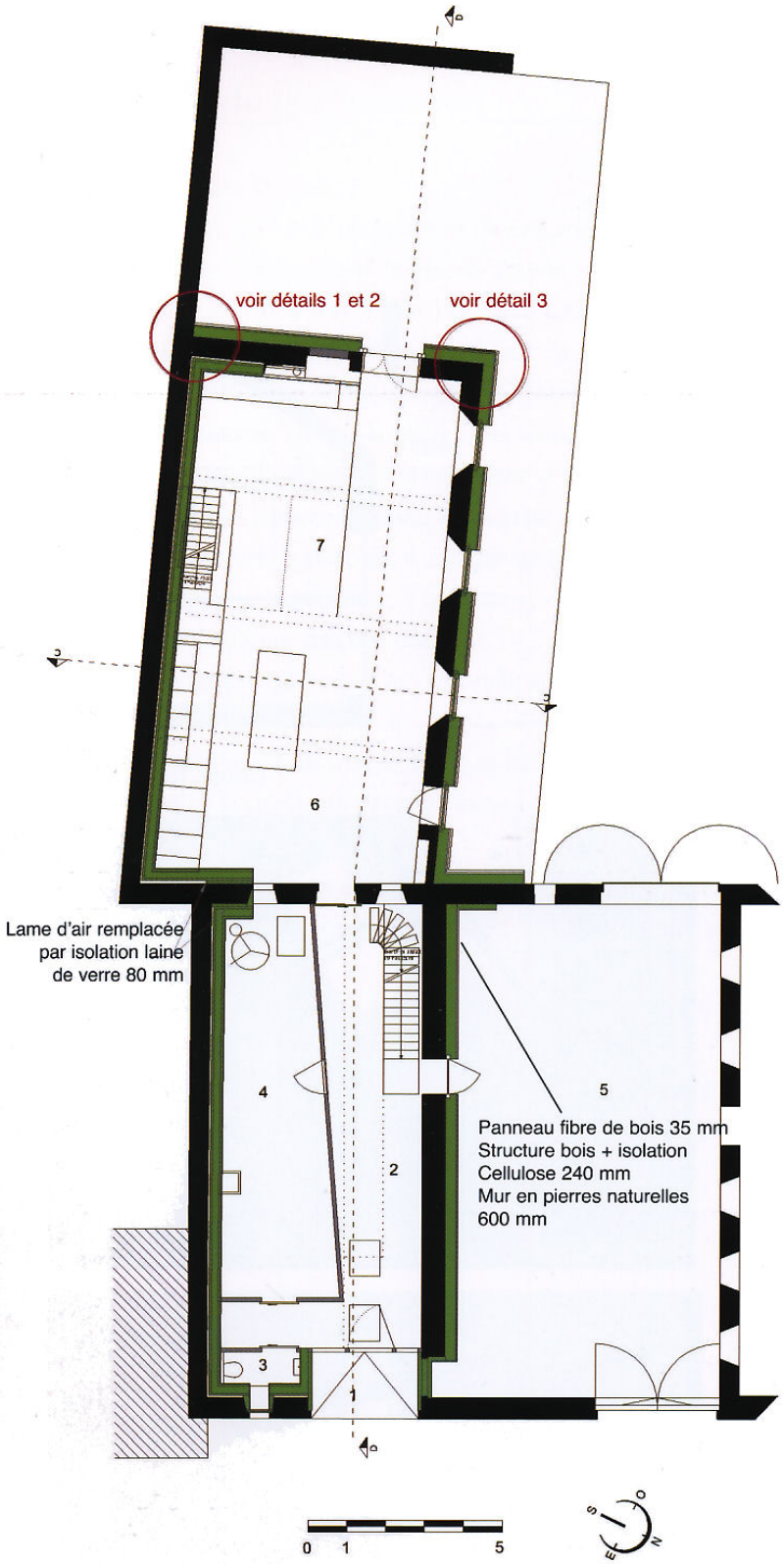
Les "chemins de lumière"

**Dans l'écurie, les espaces de jour**

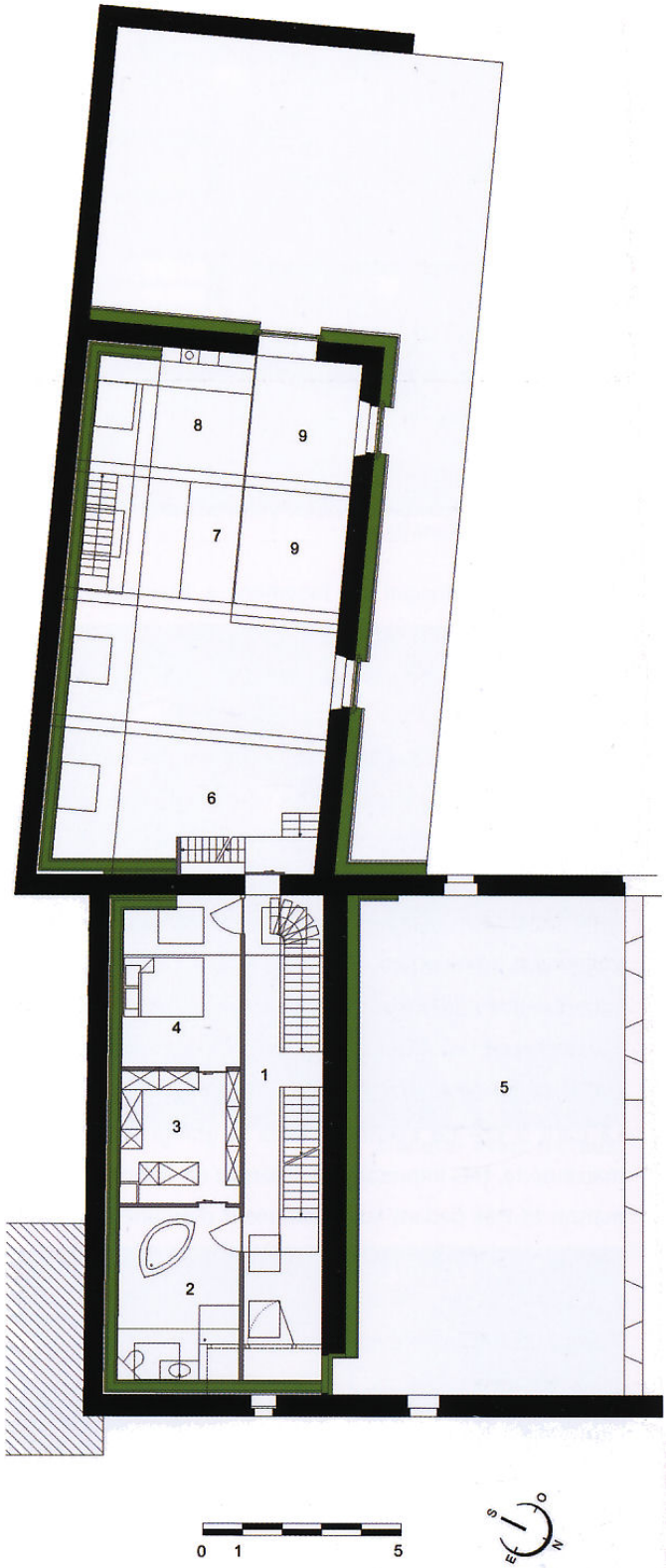
- cuisine et living au rez-de-chaussée
- salon, bureau et salle de jeu à l'étage
- un nouvel étage sous les combles servira de grenier

Une partie de la dalle a été démolie de manière à créer un espace ouvert sur deux niveaux reliant le séjour et le salon. Ce vide sera partiellement recouvert de dalles de verres et une passerelle permet de passer du bureau à la salle de jeu.

Là aussi, les fenêtres de toiture apportent une grande partie de la lumière du premier étage.




Rez-de-chaussée. 1. Entrée - 2. Circulation - 3. Toilettes - 4. Espace technique buanderie - 5. Garage - 6. Cuisine - 7. Salle à manger.




1er étage. 1. Circulation - 2. Salle de bain - 3. Rangement 4. Chambre - 5. Vide sur garage - 6. Salon et salle de jeux 7. Passerelle - 8.Bureau - 9. Vide sur rez-de-chaussée.

# Amélioration de l'enveloppe

## Composition des parois rénovées

### Murs

**Murs isolés par l'extérieur avec bardage bois (façades sur jardin)**

Cette technique a été choisie pour maintenir la masse thermique des murs à l'intérieur du volume chauffé et donc garantir la bonne inertie thermique du bâtiment. Le souhait des maîtres de l'ouvrage était aussi de maintenir, quand c'était possible, la maçonnerie apparente de l'intérieur.

| | |
|---|---|
| Bardage en bois | 1 cm |
| Lame d'air ventilée | 2 cm |
| Pare pluie souple | |
| Panneaux fibre de bois | 3,5 cm |
| Structure bois + cellulose | 24 cm |
| Pierre | 50 cm |
| **U = 0,180 W/m²K** | **80,5 cm** |

**Murs isolés par l'intérieur (façade avant et mur mitoyen avec voisin de gauche)**

La lame d'air ventilée entre la maçonnerie existante et la nouvelle structure intérieure a été prévue pour garantir la bonne tenue du mur en maçonnerie. Le maître d'ouvrage souhaitait protéger la maçonnerie (pierres maçonnées avec un mortier très sableux) d'éventuels risques de condensation en maintenant les conditions d'origine sur les deux faces du mur, d'où le choix d'une lame d'air ventilée.

Une solution aurait été, comme pour les murs donnant sur le jardin, d'isoler par l'extérieur, mais le statut de mur mitoyen ne le permettait pas.

| | |
|---|---|
| Pierre | 50 cm |
| Lame d'air moyennement ventilée | 5 cm |
| Panneau de fibre de bois | 6 cm |
| Structure bois - isolation en cellulose | 18 cm |
| Frein vapeur | |
| Espace technique - isolation en laine de chanvre | 6 cm |
| Plaques de plâtre | 1,25 cm |
| **U = 0,146 W/m²K** | **86,3 cm** |

**Murs en contact avec espace non chauffé (mur vers garage)**

Ces murs donnent sur un espace non chauffé non à l'abri du gel qui servira de garage aux maîtres de l'ouvrage. L'isolation a été réalisée par l'extérieur de manière à maintenir la masse thermique des murs, mais aussi pour conserver la maçonnerie apparente sur toute sa hauteur. Le choix d'une isolation respirante s'imposait pour garantir la bonne tenue des anciennes maçonneries dans le temps.

| | |
|---|---|
| Structure bois + cellulose 240 mm | 24 cm |
| Pierre | 60 cm |
| **U = 0,162 W/m²K** | **84 cm** |

### Sol ( sur terre-plein )

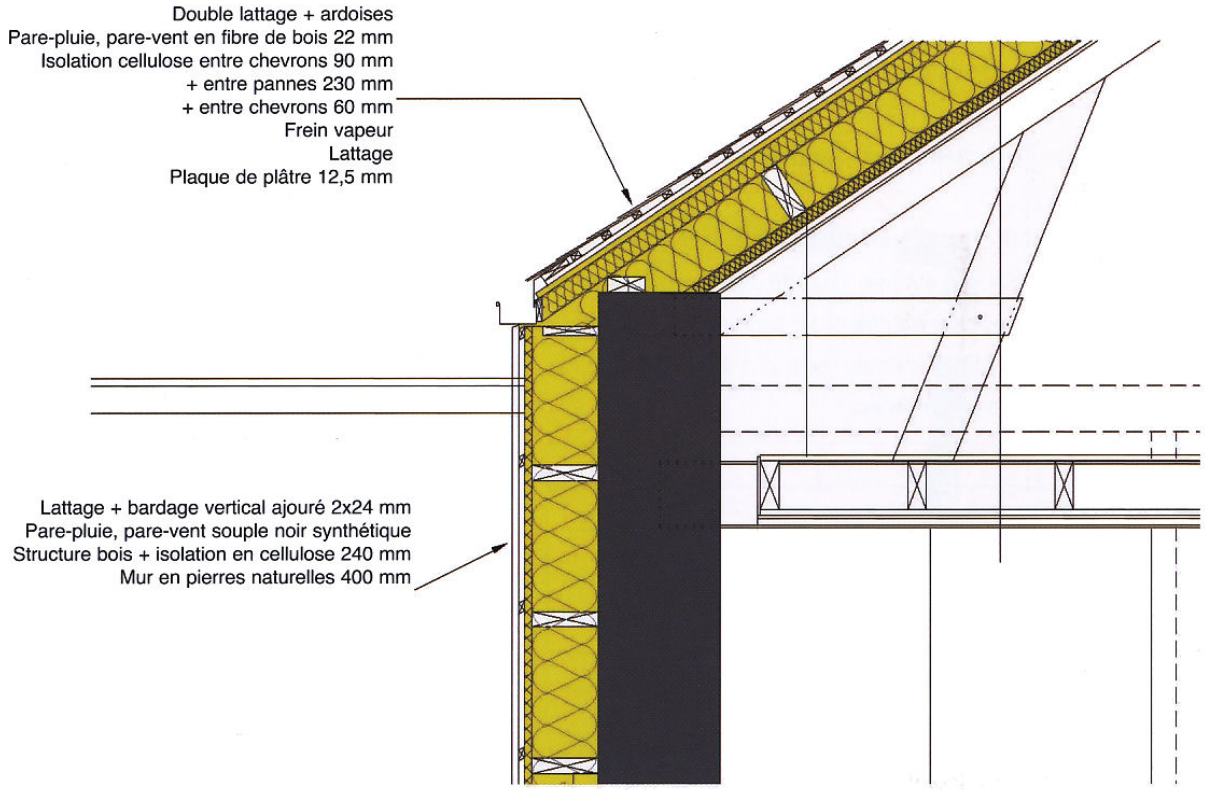
| | |
|---|---|
| Géotextile | |
| Enrochement | 25 cm |
| Dalle de béton armé | 13 cm |
| Isolation en polyuréthane | 18 cm |
| Chape lissée | 8 cm |
| **U = 0,13 W/m²K** | **64 cm** |

### Toiture

La toiture a été complètement renouvelée (charpente et couverture) ce qui a permis de placer une isolation entre les chevrons et entre les pannes, soit 32 cm.

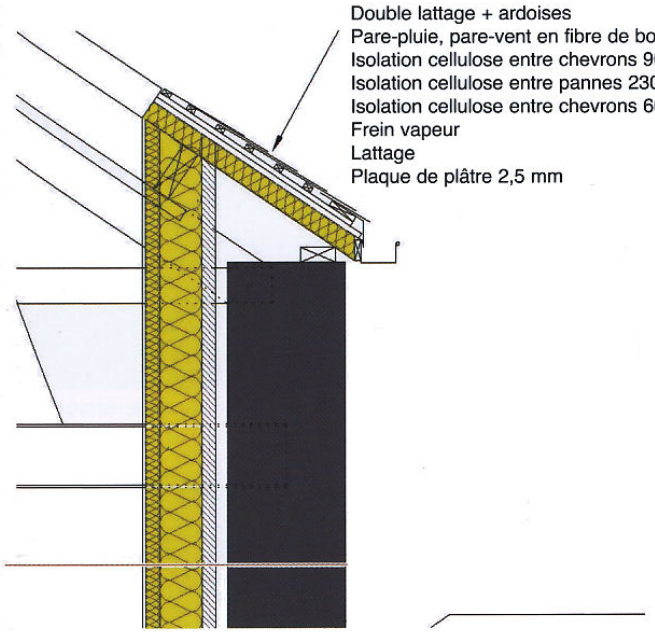
| | |
|---|---|
| Ardoise | 1 cm |
| Lattage et contre lattage | 2 cm |
| Sous-toiture en fibre de bois | 2,2 cm |
| Isolation entre et sous chevrons en cellulose insufflée | 32 cm |
| Frein vapeur | |
| Lattage | 2,5 cm |
| Plaques de plâtre | 1,25 cm |
| **U = 0,11 W/m²K** | **41 cm** |

**Détail 3** : raccord mur-toit isolation intérieure, espace jour, côté nord.



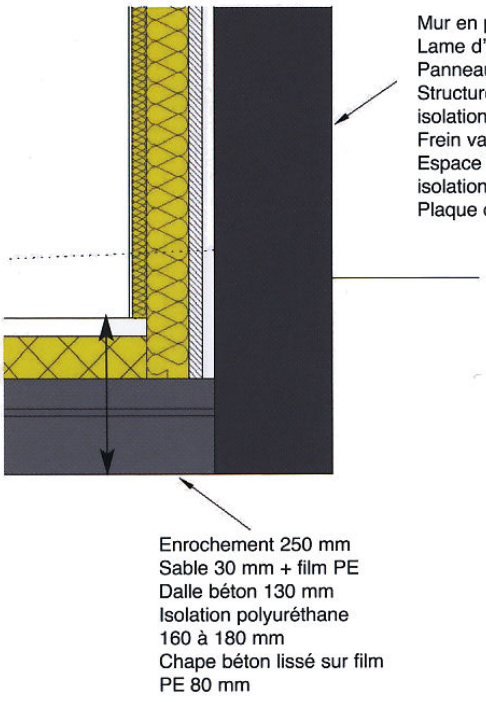
Réalisation des caissons pour la pose de l'isolant en cellulose.

**Détail 2** : raccord mur-toit.
Isolation intérieure, espace jour, côté sud.



Isolation du mur de l'écurie. Réalisation des caissons contre le mur mitoyen pour recevoir la cellulose.

**Détail 1** : pied de mur. Isolation intérieure, espace jour, côté sud.



Mur de l'écurie avec l'isolation en attente des plaques de plâtre.

**Type de vitrage – type de châssis**

L'ensemble des nouvelles menuiseries sont équipées de triple vitrage et châssis en bois et aluminium.

Toutes les fenêtres de toit sont équipées de volets extérieurs automatisés.

La baie à l'ouest (séjour) est équipée d'un store extérieur à lamelles

| | |
|---|---|
| Triple vitrage | Ug = 0,7 W/m²K |
| Châssis bois - alu | Uf =1,09 W/m²K |

Étanchéité des menuiseries.

## Ponts thermiques

Les principaux ponts thermiques à traiter dans le projet concernaient :

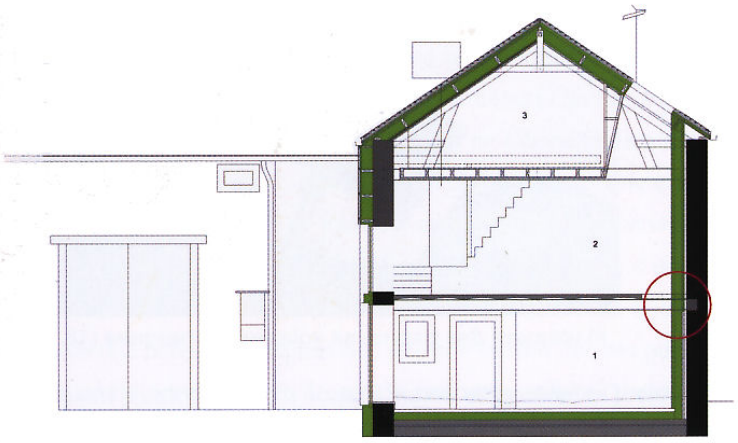
- la façade arrière sur jardin en contact avec le mur mitoyen. Ce pont thermique a été traité en isolant ce mur du côté intérieur et extérieur sur une longueur de 1,20 mm, réduisant ainsi largement les déperditions thermiques et l'impact du pont thermique. Les murs de refend, situés entre le volume avant et les écuries. Ces trois ponts thermiques ont été traités en isolant les murs sur leurs deux faces, sur une longueur variant en fonction des situations (de 60 cm à 120 mm), et ce sur toute la hauteur des murs, réduisant ainsi au mieux les déperditions thermiques liées à ces ponts thermiques.
- les poutrelles de la dalle de l'étage de l'ancienne écurie, ancrées dans le mur mitoyen. Ce pont thermique non négligeable a été traité en désolidarisant la dalle de l'étage sur tout le périmètre isolé (voir schéma) en démolissant la dernière rangée de voussettes contre mur mitoyen (sens de la portée) et les 30 cm des voussettes dans le sens perpendiculaire à la portée.

Étanchéité des menuiseries.

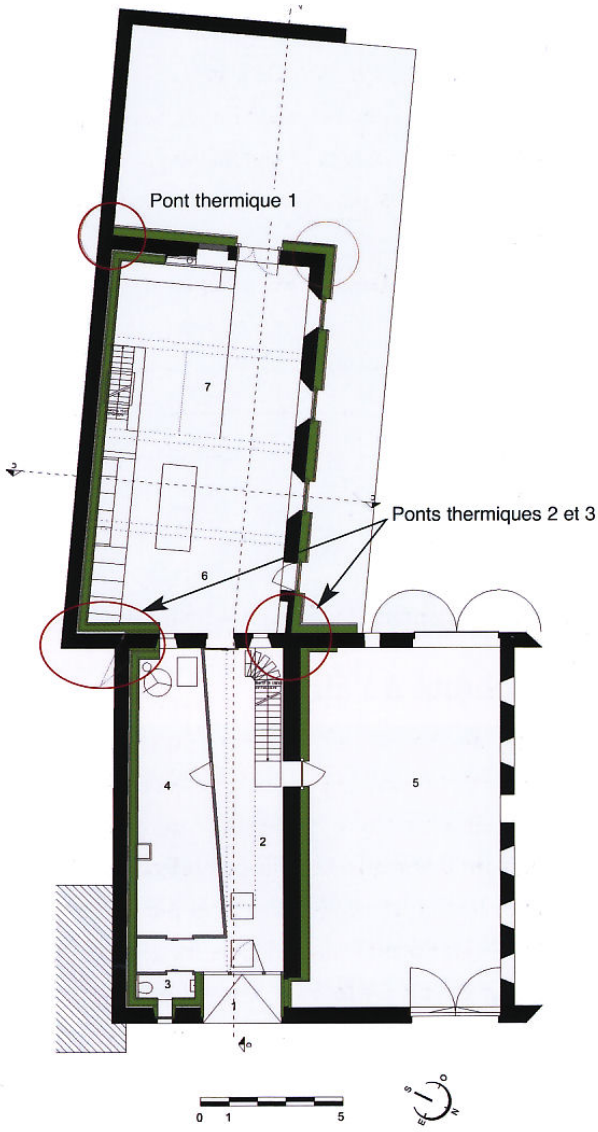
Désolidarisation de la dalle avec mur mitoyen sens longitudinal (sens de la portée – démolition d'un poutrain) et transversal (démolition de l'extrémité des poutrains).

Désolidarisation de la dalle avec mur de refend.

Situation des ponts thermiques.

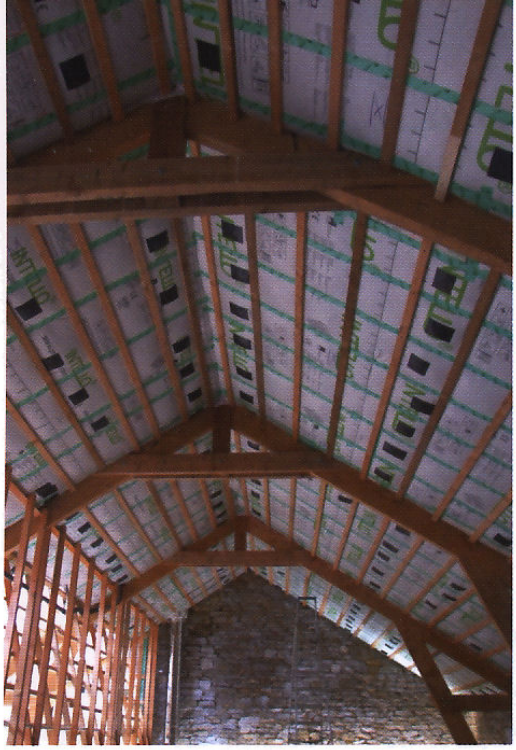



Pont thermique 4



Fenêtres de toit et chemin de lumière.

Vue sur le futur bureau.



## Étanchéité à l'air

Pour rappel, ce projet vise l'objectif en terme d'étanchéité à l'air très ambitieux de 0.6 Vol/heure (critère imposé pour la certification des constructions passives).

**Pose de frein vapeur** sur l'ensemble des parois isolées a été réalisée par les maîtres d'ouvrage. Ce travail conséquent et d'une importance capitale pour atteindre les objectifs énergétiques du projet a représenté près de 4 mois de travail d'une personne à temps plein. La grande attention apportée à cette étape, l'étendue (environ 800 m² de frein vapeur à placer) et la complexité du projet (13 fenêtres de toiture à raison d'une journée de travail par fenêtre !) a rendu ce travail très fastidieux.

Étanchéité à l'air des poutrelles métalliques.

Placement des panneaux solaires thermiques (18 m²).

L'isolation entre le cadre des fenêtres de toiture et la sous-toiture a dû être réalisée avant le placement du frein vapeur et a représenté une étape très gourmande en temps !

Outre l'étanchéité des fenêtres de toit, les principales difficultés se situent aux raccords avec les poutres, les éléments de la charpente et les plafonds. Pour garantir la bonne adhérence du frein vapeur sur les anciennes maçonneries (liaisons entre parties isolées par l'intérieur et murs de refend non isolés, des bandes d'enduits ont été réalisées verticalement.

Une grande attention a été portée à l'étanchéité à l'air des différentes menuiseries. La porte d'accès à l'espace garage (porte de composition passive) a été installée sur un joint d'étanchéité. Les résultats de ce travail seront connus lors de la réalisation du Blower door final. Le test final sera réalisé lorsque l'isolation extérieure des murs sera achevée. En effet, les maçonneries anciennes ne sont très probablement pas étanches à l'air.

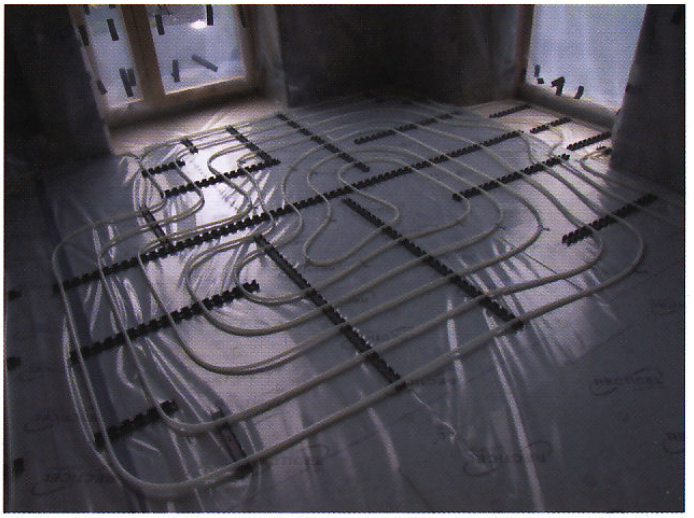
Joint d'étanchéité de la porte de la grange vers l'espace garage.

## Techniques spéciales

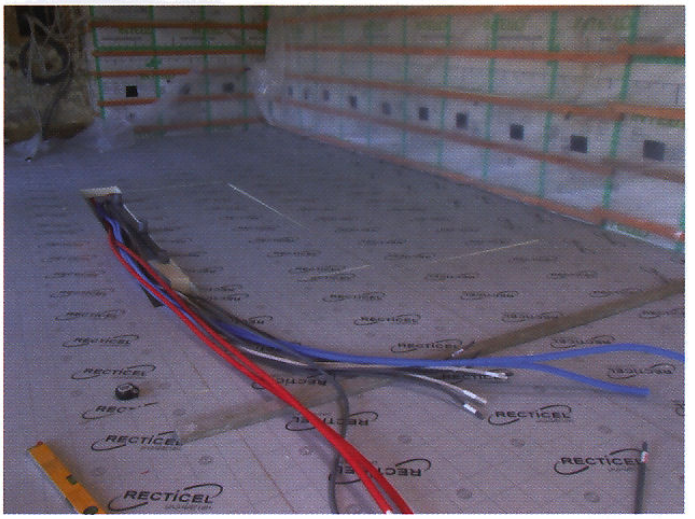
### Chauffage et eau chaude sanitaire

Pour rappel, c'est à la réception d'une première offre pour un système de chauffage à pellets (dès le départ, le choix du mazout avait été écarté) que les maîtres de l'ouvrage se sont lancés dans l'aventure d'une rénovation très basse énergie. L'objectif énergétique de 21 kWh/m² par an a réduit la puissance utile de chauffe à 6.6 kW. Après être passés par l'idée d'une pompe à chaleur, d'un système "écono", d'un poêle ou d'une chaudière à pellets, les maîtres de l'ouvrage se sont décidés pour un système principal avec 18 m² de panneaux solaires thermiques chauffant un ballon tampon de 1000 litres, pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Un chauffage par le sol est installé au rez-de-chaussée et des radiateurs dans les salles de bain. Les chambres ne seront pas équipées de chauffage.

Un réservoir de 1000 l. avec un système spécial de stratification rapide (marque Tisun) a été installé. L'appoint du ballon sera dans un premier temps électrique. En plus des coûts d'installation raisonnables, cela permettra aux maîtres d'ouvrage (via l'installation d'un compteur) de suivre de près leur consommation réelle et de décider en connaissance de cause, le cas échéant, un système complémentaire adapté. Tout a été prévu pour l'installation d'une chaudière à pellets et de l'espace en toiture est disponible pour des panneaux solaires photovoltaïques.
Un second appoint, un poêle à bois d'une puissance de 5 à 9kW a été installé dans le séjour. Outre la réduction des consommations en chauffage les jours les plus froids, le poêle a surtout été installé pour l'agrément et pour travailler sur le chantier en hiver avant l'installation du chauffage par le sol.



Installation du chauffage par le sol au rez-de-chaussée.



Isolation et chape.

Poêle de type "stûv 30 up".

Ballon tampon de 1000 litres dans la future chaufferie.

**Ventilation**

Dès le départ du projet, les maîtres de l'ouvrage avaient prévu une installation de ventilation mécanique qui était pour eux indissociable des choix visant une maison bien isolée. Afin d'améliorer le rendement de cette installation de ventilation, ils ont opté pour un puits canadien qui permettra de préchauffer (ou refroidir le cas échéant) l'air d'entrée du système de ventilation. Leur choix s'est porté sur un puits canadien vendu en kit de type "Terra-Air-Home de Fränkische" toujours dans l'idée de réaliser un maximum de choses par eux-mêmes.

Puits canadien mis en œuvre par les maîtres d'ouvrage.

## Expériences à partager

Un blog a été créé dès le début du projet et avait comme objectif d'informer toutes les personnes intéressées par son évolution (http://unegrangeengaume.be). Il a suscité de nombreuses réactions et surtout d'intéressants échanges d'expériences.

**Expérience de l'auto-construction et de l'auto-conception**

L'implication très forte de la part des maîtres de l'ouvrage (et de leurs proches) dans le projet leur a donné une très grande marge de manœuvre pour faire évoluer le projet en permanence :

- en terme d'objectif énergétique par exemple : si la réalisation du projet avait été confiée à une entreprise, l'objectif énergétique n'aurait pas pu évoluer de cette manière et aller aussi loin (et ce n'est pas fini !).
- Évolution permanente aussi en terme de qualité des matériaux, des techniques : *"en auto-construction nous avons toutes les données en main pour peser chaque choix et parvenir ainsi à un très bon rapport qualité/efficacité – prix"* expriment les maîtres de l'ouvrage.

Cette implication très forte a aussi ses limites : il faut pouvoir s'entourer de personnes compétentes et de confiance : pour des questions techniques mais aussi pour prendre du recul sur son projet : *"dans une recette on met différents ingrédients, mais à un moment, il faut goûter pour vérifier la bonne proportion de chacun d'eux"* selon la propriétaire. Ne pas se fier au premier vendeur rencontré ou à un avis dans un forum, comparer, croiser les informations pour se faire sa propre opinion sur les avantages et les inconvénients de différents systèmes. Prendre son temps pour ça, ne pas se précipiter et penser le projet dans son ensemble.

**Quelques difficultés rencontrées**

Délais de la livraison de l'ossature bois (beaucoup de retard) : un auto-constructeur n'est pas prioritaire aux yeux de certains organismes, il est important de bien discuter et clarifier les délais maximum de mise en œuvre et de ne pas hésiter à proposer des astreintes financières.

En plus d'une bonne information sur les sous-traitants, un conseil serait ici de ne pas signer un bon de commande en une fois, mais de travailler en phases, de manière à pouvoir remettre en question un contrat de sous-traitance.

En tant que particulier, les délais pour recevoir les devis sont très importants, il faut le prévoir dans le calendrier de chantier. Ces délais non maîtrisables, en plus de retarder le chantier (3 mois ont été perdus à cause de l'ossature bois) induisent une importante perte de temps et d'énergie pour les maîtres de l'ouvrage.

Ceux-ci estiment que pour mener à bien aujourd'hui une rénovation basse énergie, il est très difficile et hasardeux de pouvoir compter sur des professionnels, que ce soit des architectes ou des entrepreneurs. Sans l'expérience professionnelle du propriétaire, ils pensent vraiment qu'ils n'auraient pu atteindre les objectifs ambitieux de leur projet actuel.

## Budget

Le projet n'est pas terminé mais des estimations détaillées des maîtres de l'ouvrage laissent penser que le budget ne dépassera pas les 1000 €/m² rénovés.

Comme on l'a lu, au fur et mesure du projet (et de la réception de devis divers !) les maîtres de l'ouvrage ont décidé de prendre de plus en plus de postes en charge ce qui leur a permis de maintenir leur objectif d'une rénovation de grande qualité (en terme de choix des matériaux, de techniques et surtout d'objectif énergétique) malgré la taille de leur projet (environ 390 m² à rénover).

Les travaux non réalisés en auto-construction sont les suivants :

- terrassement
- pose de la citerne d'eau de pluie
- remplacement de la charpente et de la toiture
- installation des équipements solaires (boiler et panneaux)
- réalisation des escaliers
- réalisation de l'ossature bois espace nuit. Suite aux problèmes de délais de livraison de l'ossature bois pour les cloisons de l'espace nuit (plus de 3 mois de retard !), et des effets de ce retard sur l'ensemble du chantier, la décision a été prise de réaliser l'ossature bois des espaces jours en auto-construction. Le bois a été acheté directement à la scierie et le budget a donc été revu largement à la baisse par rapport à une structure vendue en kit.

Ces décisions pour réduire les coûts de rénovation ont imposé aux maîtres de l'ouvrage d'aménager leur temps. Un congé parental a permis au maître de l'ouvrage de se consacrer à mi-temps au chantier, en plus de 3 à 4 soirées par semaine. Ils ont été aidés par diverses personnes tout au long du chantier.

Un montant d'environ 18 000 € devrait revenir aux maîtres de l'ouvrage pour les différentes primes : primes à l'embellissement, primes à la restructuration, primes pour l'installation d'un chauffe-eau solaire et primes énergie et prime pour la récupération de l'eau de pluie (il est signalé que le montant des primes a été modifié depuis lors et qu'avec le régime actuel pour un projet similaire, ce montant serait revu à la baisse). Les démarches ont mobilisé de leur part énormément d'énergie ; démarches qu'il faut prévoir dans le planning du chantier et pour lesquelles il faut suivre un calendrier très précis au risque de passer à côté (la procédure pour chaque prime est différente et exige des démarches spécifiques auxquelles il faut être très attentif).

Façade arrière avant travaux.

Façade arrière pose des caissons.

Façade arrière avant isolation.

Cellulose

Ossature bois

# Maison à De Pinte

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Maison unifamiliale
Calendrier | Début 2008 - Fin 2008
Programme de la rénovation | Habitation unifamiliale
Besoins en chauffage avant travaux | 180 kWh/m²
Besoins en chauffage et ECS après travaux | 67 kWh/m²
Besoins en chauffage après travaux | 15 kWh/m² (calcul phpp) soit 1,5 l équivalent mazout/m² an
Surface brute | 128 m²

## Particularités du projet

Isolation au standard passif
Démolition de l'annexe et du mur porteur
Modification du plan de circulation
Protections solaires extérieures
Récupération des eaux de pluie

## Difficultés rencontrées

Démolition de la toiture existante

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Famille Huyghe - Van Steeland
Architecte | Alexis Versele architecten

## Standard énergétique

Maison passive

## Techniques d'isolation et matériaux

Isolation plancher | PU 26 cm
U= 0,086 w/m²K R= 11,62 m².K/W

Murs |
Façades isolation par l'extérieurr :
Fibre de bois + cellulose 24 cm
U=0,126 wWm²K R=7,93 m².K/W

Toitures |
Isolation par l'intérieur 30 cm cellulose
U=0.12 w/m².K - R=8,33 m².K/W

Toiture plate
Isolation par l'intérieur : 12 cm de PU en panneaux
U=0.20 w/m².K - R=1,4 m².K/W -

## Chassis et vitrages

Double vitrage U=1,1 W/m²K

## Chauffage

Chauffage d'appoint électrique

## Eau chaude sanitaire

Production par PAC et capteurs solaire

## Ventilation

Système D rendement échangeur 84%

Fiche réalisée par la Passief Huis Platform

LEHR CSTC - WTCB - BBRI PHP

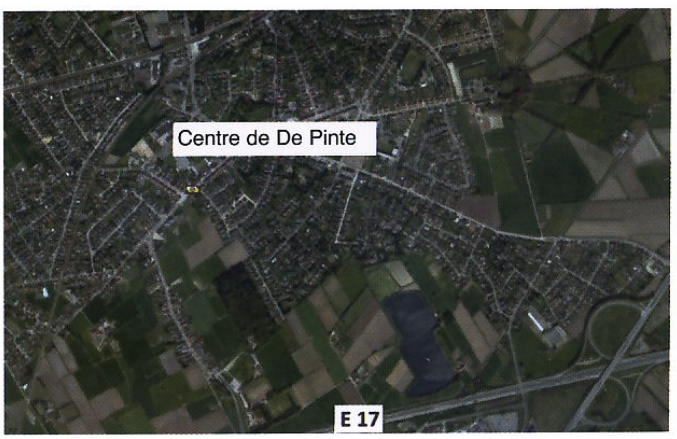
# Introduction

## Contexte

Les propriétaires de cette maison trois façades des années 1950 envisageaient une habitation basse énergie et saine avec beaucoup de lumière et d'espaces ouverts. La recherche d'un architecte qui puisse réaliser leur maison de rêve s'avérait plutôt difficile. Le contact avec le premier architecte n'a pas été bon. Celui-ci avait conçu un avant-projet qui dépassait largement le budget prévu et ne suivait pas tout à fait le concept basse énergie. Les propriétaires décidèrent de contacter un architecte expérimenté dans le domaine de la construction basse énergie l'agence Alexis Versele Architecten. Après le premier entretien et une visite du logement, les propriétaires ont décidé de rénover le bâtiment au standard passif tout en restant dans le budget envisagé. Ce standard exige une isolation appropriée, l'étanchéité de la construction et l'orientation favorable des surfaces vitrées. Ces éléments permettent de réduire les besoins de chauffage au minimum.

Le choix des propriétaires de ne pas totalement démolir le bâtiment existant est fondé sur trois raisons. La structure du bâtiment est favorable : il a été élevé en blocs de béton massifs d'une largeur de 19 cm encore en bon état qui disposent jusqu'à présent d'une grande inertie thermique. Le plan d'aménagement existant du rez-de-chaussée était satisfaisant. D'un point de vue écologique, le ré-emploi de la structure originale se traduit par une économie de ressources et permet ainsi une baisse des déchets de construction. D'un point de vue économique, en choisissant une rénovation, les propriétaires bénéficient d'un taux de TVA réduit.

La maison existante comprenait un volume principal qui a été étendu au fil des années par diverses annexes. Le mur commun est principalement orienté vers le sud, ce qui constitue un défi supplémentaire car l'orientation du bâtiment est un élément important pour la construction passive.



Façade arrière après rénovation.

Mezzanine.

Façade arrière avant rénovation.

## Descriptif de la rénovation

### Situation de départ

L'architecte envisageait un logement avec beaucoup de lumière et d'espaces ouverts, équivalent à un loft. C'est pourquoi il a été décidé de situer les chambres au rez-de-chaussée en tenant compte le plus possible de l'aménagement d'origine. La toiture existante non-isolée du premier étage a été démolie et relevée pour que les pièces de vie puissent disposer de plus d'espace et d'une hauteur suffisante.

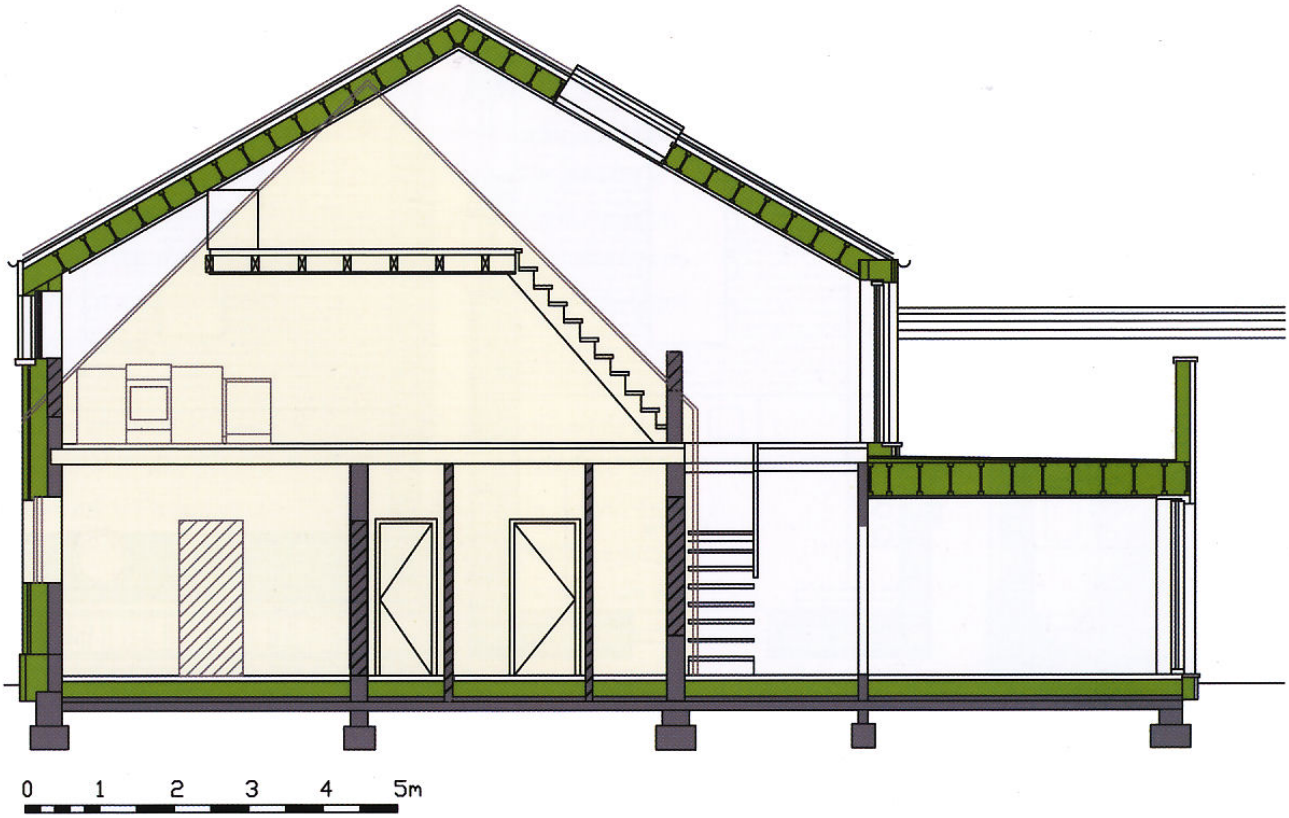
Après la mise au point de l'avant-projet, un premier calcul PHPP a étét fait. Celui-ci indiquait que le standard passif n'avait pas été atteint. L'avant-projet était évalué à nouveau et accompagné de plusieurs mesures sur l'étanchéité et la dimension des fenêtres. En ce qui concerne l'enveloppe, le type d'isolation du sol a été modifié pour atteindre une isolation plus performante. Les fenêtres de la façade arrière (orientation sud-ouest) ont été agrandies pour optimiser les gains solaires. Dans une maison passive, des fenêtres orientées vers le sud constituent des avantages. Les fenêtres de toit envisagées vers l'est ont été supprimées pour augmenter les gains solaires annuels. Le puitsl de lumière orienté vers l'est apparaissait également comme un facteur négatif sur le résultat final et n'a pas été réalisé.

Ces adaptations ont été intégrées dans un nouveau calcul PHHP qui révélait cette fois que le standard passif pouvait tout juste être atteint.

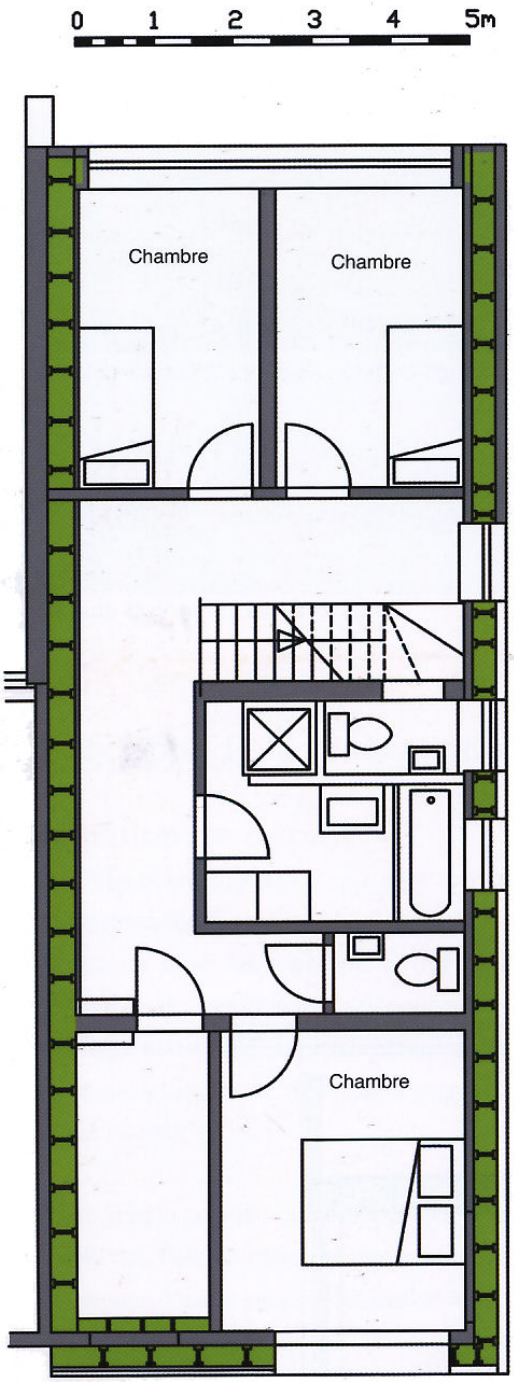
## Conception architecturale

Ce logement traditionnel a été transformé en une maison contemporaine tant au niveau de l'architecture intérieure que dans le choix des matériaux. Les baies existantes ont été adaptées en fonction de l'orientation, ce qui donne l'impression d'une maison plutôt fermée sur les côtés avant et arrière qui s'orientent vers le nord. Pourtant, grâce à la façade arrière ouverte, les occupants bénéficient de beaucoup de lumière qui eclaircisse la presque totalité des espaces. En ouvrant de surcroît les pièces de vie, les occupants éprouvent la sensation d'habiter un loft.

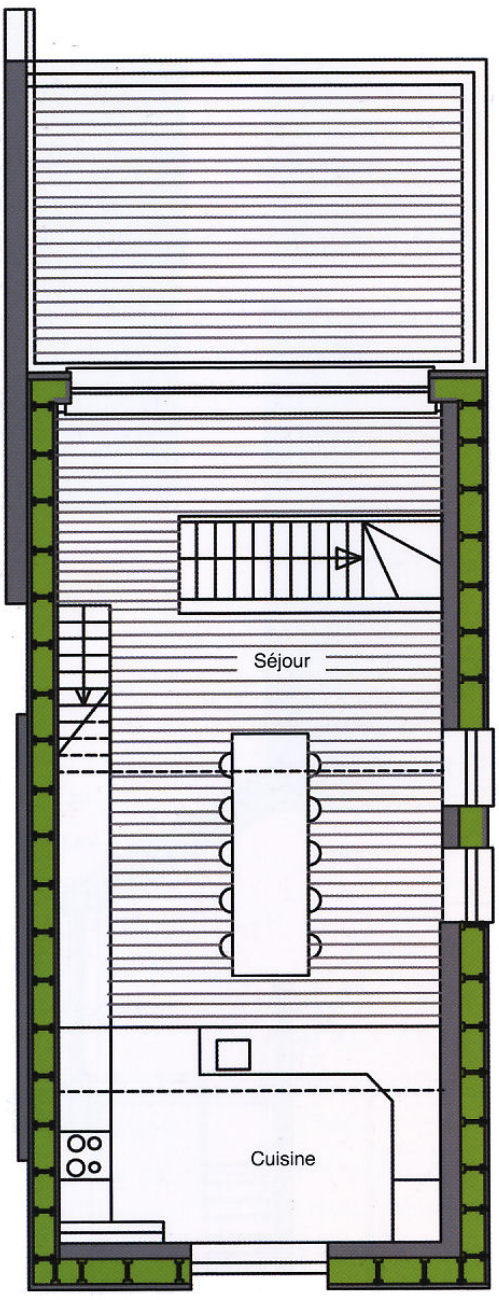
Façade avant rénovation.



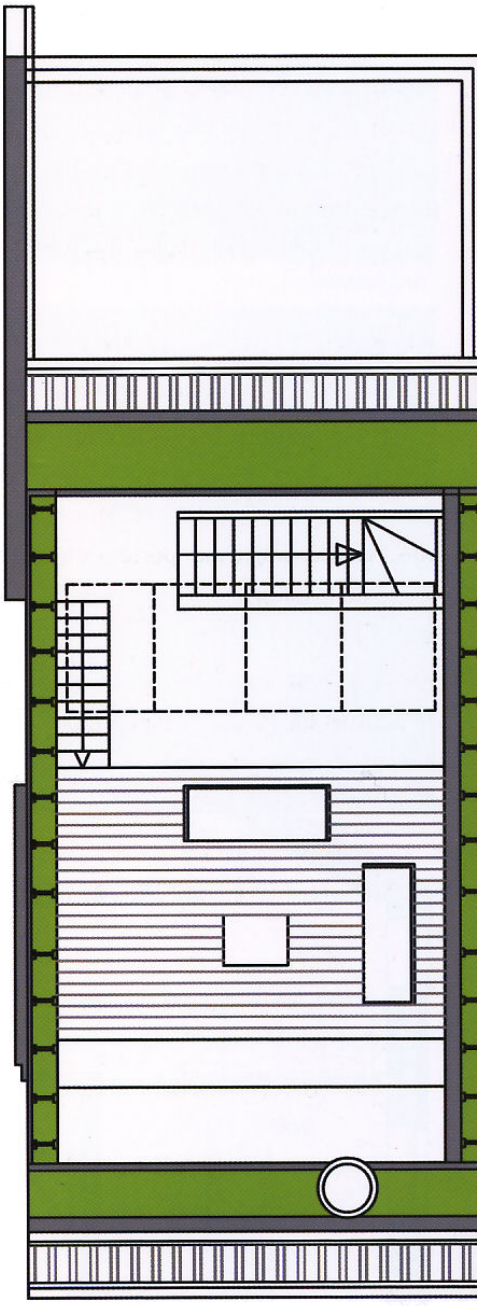

Coupe transversale avec indication du gabarit du voisin gauche.




Rez-de-chaussée.




1er étage.



Mezzanine.

# Amélioration de l'enveloppe

## Composition des parois rénovées

La maison existante comprenait une construction traditionnelle en murs creux non-isolés. En accord avec le constructeur du gros œuvre on a décidé de démolir le parement afin de poser l'isolation de parement (poutres en bois avec cellulose) directement contre le mur porteur, pour augmenter l'épaisseur de la paroi. Lors de l'installation de l'ossature en bois contre l'extérieur du mur porteur, il est apparu que la structure n'était pas plane. À certains endroit, il fallait aligner l'ossature jusqu'à 7 cm.

À l'extérieur, l'ossature a été couverte par deux couches de panneaux isolants en fibres de bois perméables à la vapeur dont une couche extérieure spécialement adaptée à une finition à enduire. Après l'installation des panneaux perméables à la vapeur, le dessus des parements a été couvert d'un bardage horizontal en bois. À l'intérieur, le mur porteur a été plâtré pour assurer l'étanchéité de la paroi.

La nouvelle annexe a été élevée en ossature en bois composée de poutres de 30 cm d'épaisseur. À l'extérieur aussi deux couches de panneaux de fibres de bois perméables à la vapeur ont été mises en place pour que la façade puisse être enduite à l' extérieur. À l'intérieur, l'étanchéité et la rigidité de la construction sont assurées par des panneaux OSB avec joints couverts et un vide d'air a été rempli par une isolation de lin pour protéger les conduites.

Le mur commun du bâtiment a été équipé d'une cloison de doublage, composée de poutres en bois de 30 cm d'épaisseur comblées par un isolation cellulose. À l'intérieur, cette cloison était finie par des panneaux OSB pour assurer l'étanchéité. Le projet sera ainsi isolé sans interruption, même si le bâtiment voisin est démoli.

Annexe en ossature bois, en cours de construction.

Construction de la toiture plate.

Construction de l'ossature bois.

Ossature en bois : détail.

Ossature en bois : installation du pare-vapeur.

Ouverture dans le mur pour insufflation de la cellulose.

Les toits inclinés et plats sont composés de poutres en bois remplies de cellulose. À l'intérieur de la toiture plate, un pare-vapeur à diffusion variable a été installé pour que la quantité minimale de vapeur d'eau qui parvient à percer le pare-vapeur et la quantité d'eau présente dans le bois de construction puissent sécher. Le plancher est en béton sur sol plein. Il est assez lisse et l'isolation de sol a pu être placée directement par dessus. Au total, 26 cm d'isolation en mousse résolique ont été posés, avec au-dessus une chape de finition recourte de linoléum.

**Toiture inclinée (avant: U = 5,5 W/m²K)**

| | |
|---|---|
| Panneaux et lattes | 5 cm |
| Panneaux en fibres de bois | 2,2 cm |
| Chevrons | 8,2 cm |
| Poutres I en bois avec cellulose | 30 cm |
| Panneaux OSB | 1,5 cm |
| Lattes | 2,2 cm |
| Carreaux de plâtre | 12,5 cm |
| **U = 0,12 W/m²K** | **50,4 cm** |

**Mur extérieur (avant: U = 1,9 W/m²K)**

| | |
|---|---|
| Enduit extérieur | 2 cm |
| Panneaux fibres de bois (soft board) | 6 cm |
| Panneaux fibres de bois (hard board) | 1,8 cm |
| Ossature en bois + isolation cellulose | 24 cm |
| Mur porteur existant | 19 cm |
| Plafonnage | 1,5 cm |
| **U = 0,126 W/m²K** | **54,3 cm** |

**Plancher (avant : U = 2,7 W/m²K)**

| | |
|---|---|
| Panneau en béton | 15 cm |
| Isolation en mousse résolique | 26 cm |
| Chape | 7 cm |
| Linoléum | 0,6 cm |
| **U = 0,086 W/m²K** | 48,6 cm |

Étanchéité à l'air des panneaux OSB.

Vue sur une fenêtre du 1er étage.

**Fenêtres**

Châssis extérieurs en bois à double vitrage amélioré. La valeur U de l'ensemble s'élève à 1,52 W/m².K et celle du vitrage est de 1,1 W/m².K.

Combinaison de fenêtres de toit et fenêtres intérieures.

Construction des fenêtres de toit et fenêtres intérieures.

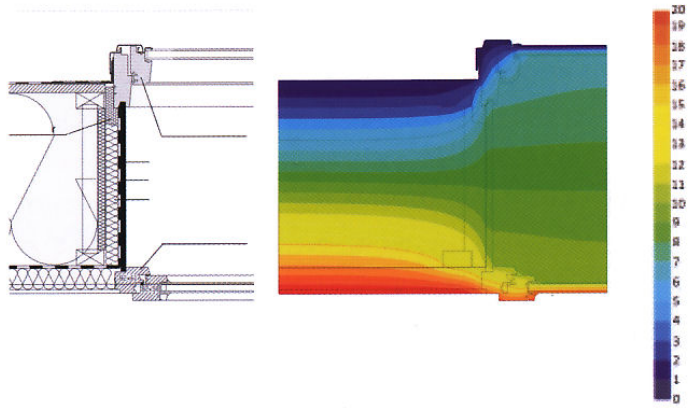
Remplacement du 1er rang des murs porteurs existants par des éléments en béton cellulaire. Création d'une coupure thermique au niveau de la base du mur existant.

## Ponts thermiques

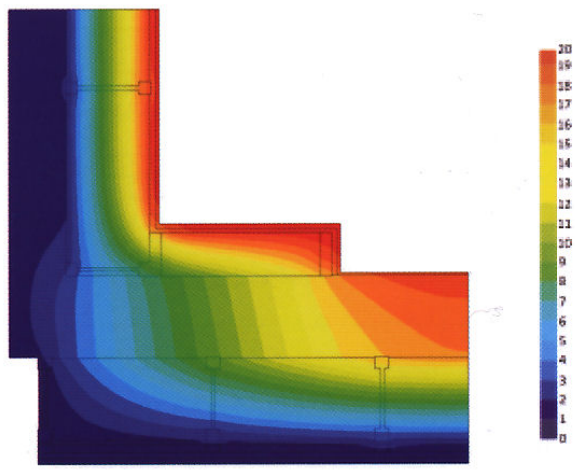
La construction sans ponts thermiques constituait un défi supplémentaire, du fait des contraintes dues à la structure existante. Les ponts thermiques de certains raccords ont donc été calculés pour les optimiser.

Lors d'une rénovation, le pont thermique traditionnel se situe au niveau de l'amorce de mur. La maison devait encore être équipée d'un pare-vapeur et les calculs de ponts thermiques indiquaient qu'un interupteur thermique était indispensable. Les maîtres d'ouvrage ont décidé de remplacer les premiers rangs de tous les murs existants par des éléments constructifs isolants en béton cellulaire complétés d'un pare-humidité double (en bas et au-dessus du bloc de béton cellulaire).
Un autre raccord pour lequel le pont thermique a été calculé se situe au niveau de la façade et du mur commun. L'enveloppe isolante y était interrompue provoquant un pont thermique. Pour résoudre ce problème, une cloison de doublement isolée était posée sur une longueur restreinte.

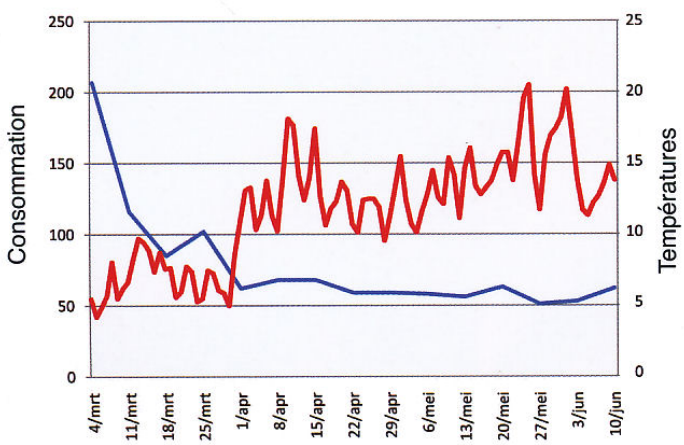
En dernier lieu, le pont thermique sur les fenêtres de toit a été calculé. Celles-ci se trouvant à l'extérieur de l'enveloppe, le pont thermique y était plus grand. Pour le limiter, on a choisi d'installer une fenêtre intérieure supplémentaire à l'intérieur de la baie.



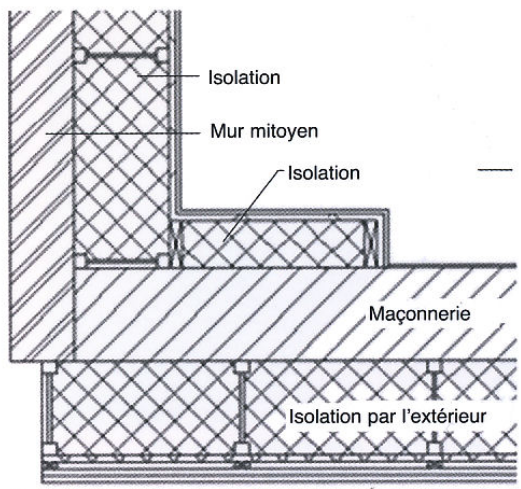
Modélisation thermique de la connexion entre la fenêtre de toit et la fenêtre intérieure.



Modélisation thermique de la connexion entre le mur commun et la façade.




Données de consommation. Températures moyennes de mars à juin et consommation.




Connexion entre le mur commun et la façade.

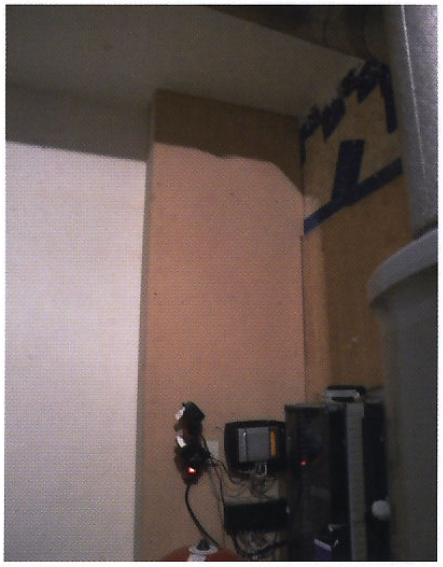
## Étanchéité

Dans une maison passive, l'infiltration d'air ne peut pas dépasser 0,6 volumes à l'heure pour une différence de pression de 50 Pa. Pour arriver à ce niveau lors de la rénovation, on a tenu compte, dès le début des plans d'exécution, de la création d'une enveloppe étanche à l'air.

En ce qui concerne l'ossature en bois, la couche étanche est réalisée au moyen de panneaux OSB, les joints devant absolument être couverts d'un ruban adhésif adapté. La couche étanche de la maçonnerie est réalisée par le plâtrage intérieur. S'agissant ici d'une combinaison d'une construction massive et une construction en ossature de bois, les joints entre les deux constituent une question prioritaire. Ainsi, une bande étanche à l'air a été appliquée à tous les raccords de la maçonnerie et de l'ossature. Cette bande est constituée pour une moitié en une bande adhésive collée sur le panneau OSB de l'ossature et pour l'autre en un treillis d'armature incorporé au milieu du plâtrage. Grâce à ce système, les joints des deux types de construction sont étanches.

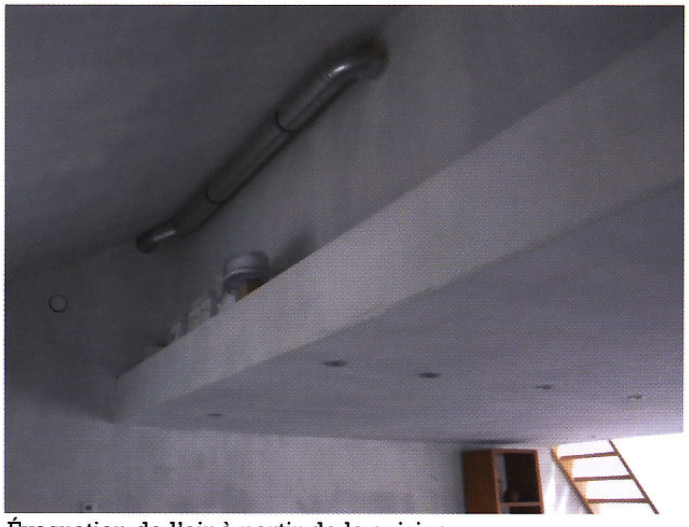
Le test d'étanchéité a été effectué, il indiquait un taux de renouvellement d'air de 0,56 Vol/h (en dessous du critère 0,6 Vol/h exigé pour le label maison passive).

Les fuites notables avaient lieu au passage des conduits de capteurs solaires à travers le toit (quoique couverts le mieux possible), au passage d'un vieux câble électrique au travers du plancher et à l'interruption du plâtrage au niveau de l'amorce de mur (contre l'humidité montante) dans le coin de la connexion du mur commun et la façade.



Cloison de doublage isolée comme coupure thermique au niveau du raccord de façade-mur commun.

Couverture étanche à l'air de la paroi de l'ossature bois.



Évacuation de l'air à partir de la cuisine.

Raccord étanche à l'air entre l'ossature bois et la maçonnerie.

## Stratégies thermiques

**L'hiver**

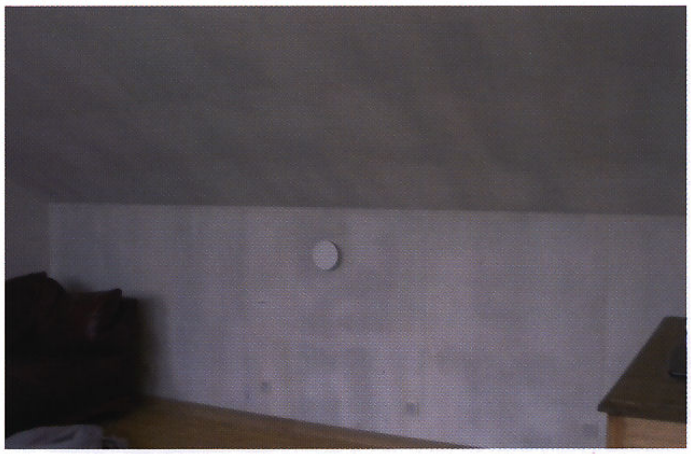
Orientées vers le sud-est, les surfaces de fenêtres de la façade arrière offrent les apports solaires. Le soleil peut pénétrer loin dans la maison grâce au plan d'aménagement ouvert. Un système de ventilation assure le chauffage du logement, mais au cas où il s'avère insuffisant, l'air dans la pièce de vie sera chauffé par une résistance électrique dans la conduite d'arrivée. Le chauffage d'appoint des chambres sera réalisé par des chauffage électriques individuels, réglables en fonction des besoins.

**L'été**

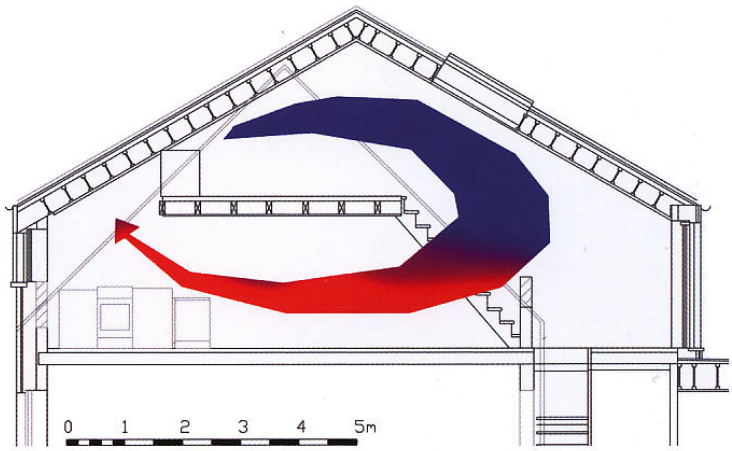
Pour empêcher la surchauffe du bâtiment en été, les fenêtres de toit et de la façade arrière à l'étage sont pourvues de protections solaires. A l'arrière de la maison deux arbres sont plantés pour donner de l'ombre aux fenêtres de la façade arrière au rez-de-chaussée. De plus, un puits canadien (sol-glycol) pré-refroidira l'air de ventilation entrant. Le by-pass dans l'appareil de ventilation empêche l'air frais entrant d'être chauffé par l'air sortant.

**Énergie**

Comme il s'agit de rénover et d'étendre un bâtiment existant, il n'est pas obligatoire de calculer le niveau E. Il faut quand même que la maison soit conforme aux valeurs U maximales. Dans le cadre de la rénovation passive, les valeurs U maximales étaient atteintes sans problème et toute la maison est pourvue d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur. La compacité du bâtiment a également été modifiée : en démolissant l'annexe, le volume allongé a été remplacé par une annexe plus courte et compacte. Le vieux toit non-isolé a aussi été démoli et remplacé par un toit en bâtière.



Amenée d'air à partir de la mezzanine.




L'arrivée d'air frais se répand dans la mezzanine, l'air vicié s'évacue par la cuisine.

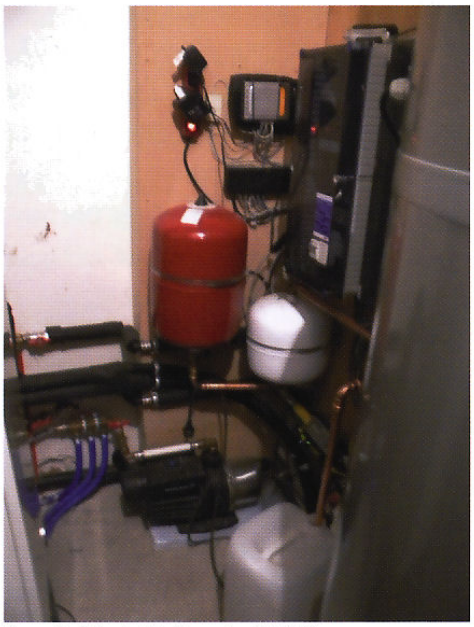
## Ventilation

Dans une maison passive, la ventilation est aussi importante que l'isolation et l'étanchéité. Cette maison a été équipée d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur. Avant d'entrer dans l'appareil de ventilation, l'air frais entrant est préchauffé (en hiver) ou pré-refroidi (en été) par un échangeur de chaleur sol-glycol. Il s'agit d'un tuyau en PE d'une épaisseur de 2,54 cm et d'une longueur de 60 cm, installé à une profondeur de 1,5 m. Il est situé dans l'eau, ce qui produit une meilleure performance. En hiver, le puits canadien préchauffe l'air frais à une température supérieure, tout en évitant le gel de l'échangeur dans l'appareil de ventilation. En été, l'échangeur assure le refroidissement de l'air frais avant que celui-ci ne soit insufflé dans la maison par un by-pass. Cet appareil renferme un échangeur de chaleur à contre courant ($\eta$ = 84%). Les deux courants passent parallèlement : la surface d'échange est plus grande et la performance de ces échangeurs est plus haute que celle des échangeurs de chaleur à courant croisé.

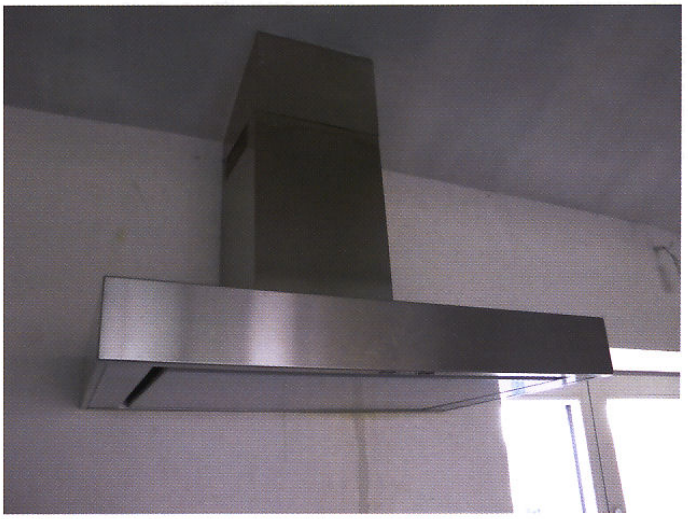
Local d'installation du sytème de ventilation double flux.

## Chauffage

Le chauffage d'appoint des espaces de vie arrive par une résistance électrique de 1200 W installée dans la conduite d'amenée de ces pièces. Dans les chambres, le chauffage est assuré par des chauffages électriques. Dans la salle de bains, un radiateur électrique supplémentaire sera installé pour assurer une température de confort plus élevée.



Local d'installation de l'ECS.

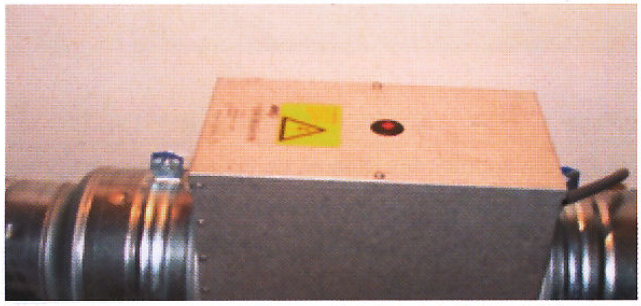


Hotte à recirculation dans la cuisine.

**Eau chaude sanitaire**

L'eau chaude sanitaire est chauffée en partie par un boiler PAC (pompe à chaleur) et en partie à l'aide de capteurs solaires plans montés sur la toiture inclinée. La pompe à chaleur tire son énergie de la chaleur encore présente dans l'air sortant après le passage à travers l'échangeur de chaleur du système de ventilation double flux. Quand ces systèmes ne produisent pas assez d'eau chaude, une résistance électrique dans le boiler (300 l) a été prévue.

Lors de la conception, l'emplacement des pièces humides par rapport à l'installation d'eau chaude sanitaire a été prise en considération afin de réduire la longueur des conduites au maximum.



Résistance électrique en chauffage d'appoint des pièces de vie.

La citerne de 5000 l fournit l'eau aux deux toilettes et à la machine à laver.

Végétation comme protection solaire pour les fenêtres de la façade arrière.

## Environnement

**Eau**

Dans le jardin à l'avant, une citerne de 5000 l a été installée pour approvisionner les deux toilettes et la machine à laver, cela permet de réduire au maximum la consommation d'eau sanitaire.

**Matériaux et méthodes constructives**

En choisissant les matériaux de construction, les propriétaires ont tenu compte des valeurs écologiques. Les matériaux renouvelables ont eu leur préférence : l'ossature en bois a été principalement construite en bois certifié FSC et les parois et toits ont été isolés par une isolation en cellulose. L'isolation du plancher est assurée par un isolant chimique (isolation Resol). Cet isolant a été choisi car il a une performance isolante élevée ($\lambda$ = 0,021 W/mK). Cela a permis de réduire au maximum l'épaisseur du plancher. L'étanchéité des parois maçonnées a été réalisée au moyen de plâtrage intérieur à base de plâtre naturel. Pour la finition du plancher du liège et du linoléum ont été utilisés. Des panneaux en fibres de bois perméables à la vapeur ont été appliqués à l'extérieur et couverts d'un enduit minéral extérieur.

Plusieurs arguments allaient contre la démolition totale du bâtiment. La destruction entière de la maison existante aurait entraîné une surproduction de déchets de construction et sa reconstruction aurait nécessité d'utiliser de nouveaux matériaux de construction. La structure existante en blocs de béton massifs était encore en très bon état et contribue à l' inertie thermique du bâtiment. Cela permet une température intérieure constante prolongée lors des températures extérieures estivales très élevées.

**Mobilité**

En choisissant d'habiter près du travail et de l'école, les propriétaires ont décidé de vendre leur voiture et de faire pratiquement tous leurs déplacements à vélo.

**Autres**

Pour la cuisine, les propriétaires ont choisi le gaz naturel qui est est plus économe en énergie. La cuisine est également équipée d'une hotte à recirculation.

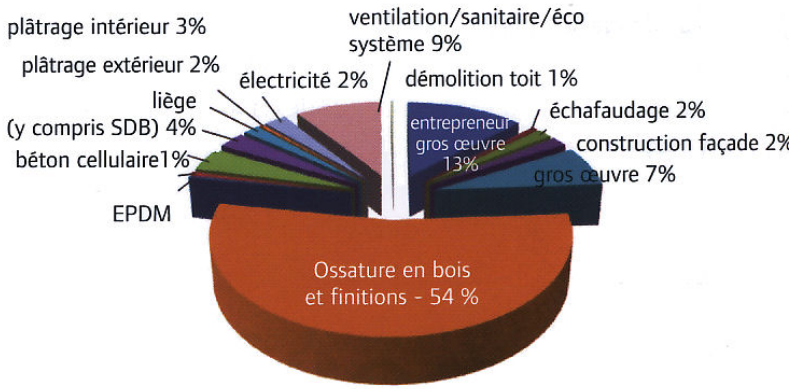



Diagramme des coûts.

## Expériences à partager

**Confort thermique**

Même si la maison n'a pas encore été occupée longuement, les propriétaires sont très satisfaits du confort thermique. Les stores sont baissés facilement pour éviter la surchauffe. La végétation à l'arrière est encore en pleine croissance et ne peut donc pas pleinement remplir son objectif de protection solaire. En attendant, un filet de camouflage provisoire est accroché en été pour assurer une ombre satisfaisante.

Après la rénovation, des mesures ont été faites dans la maison pendant un mois et demi. Les compteurs de CO2 dans la pièce de vie et la cuisine indiquaient une teneur de CO2 moyen de 496 ppm qui, en comparaison de celui de l'air extérieur de 400 ppm, donne une bonne qualité d'air. Si l'on prend en compte la classification européenne de la qualité d'air intérieur, classification IDA de 1 à 4 (IDA 1 la plus haute, IDA 4 la plus basse), la maison appartient à la première catégorie (IDA 1). Tout au long des mesures, la teneur de CO2 n'a dépassé la valeur limite de 800 ppm que dans 2 % du temps mesuré, ce qui présume la catégorie IDA 2. L'humidité relative dans la pièce de vie et la cuisine lors de la période de mesure était de 55% en moyenne et approchait ainsi la valeur optimale de 50%.

Volume principal 571 $m^3$ - Surface de perte 390 $m^2$

Compacité 1,46 m - Surface chauffée 128 $m^2$

| Consommation | kWh/m²an | total kWh/an |
|---|---|---|
| Besoin de chauffage avant rénovation | 180 | 19800 |
| Besoin de chauffage après rénovation | 15 | 1920 |
| Consommation d'énergie primaire avant rénovation (chauffage + eau chaude sanitaire)* | 450 | 49500 |
| Consommation d'énergie primaire après rénovation (chauffage + eau chaude sanitaire)** | 67 | 8576 |

* selon calcul PHPP ** selon calcul PEB Flamand

## Budget

La construction de l'ossature bois a engendré la plus grande dépense. Ce poste comprend également les fenêtres passives et l'étanchéité.

## Conclusion

Après avoir trouvé un architecte expérimenté, les maîtres d'œuvre ont pu réaliser une maison passive durable et écologique. Ce projet se sert du potentiel déjà présent dans le bâtiment existant. Le processus n'était pas simple : des problèmes de ponts thermiques, des solutions intégrées à l'étanchéité et surtout le défi de ne pas dépasser le budget initial ont demandé beaucoup de travail et d'analyse.

On peut conclure à travers ce projet que la rénovation vers le standard passif nécessite une approche globale et des transformations de grande ampleur.

Laine de roche | Béton

# Immeuble Sterrenveld

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Immeuble de logements sociaux
Calendrier | Début 2004 - Fin 2004
Programme de la rénovation | Restructuration de l'immeuble
Besoins en chauffage et ECS avant travaux | 150 kWh/m²
Besoins en chauffageet ECS après travaux | 75 kWh/m²
Surface brute | 4845 m²
Budget des travaux | 1550 €/m² HTVA

## Particularités du projet

Réimploi de la structure béton
Dénudation de l'immeuble

## Intervenants

Maître d'ouvrage | SHM Gewestelijke Maatschappij voor Volkshuisvesting
Bureau d'étude | RCR studiebureau
Architecte | Quirynen & Jacobs Architecten

## Standard énergétique

Basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Façade |
Isolation par l'extérieur laine minérale 15 cm U=0,28 W/m²K R=3,57 m².K/W
Toiture |
U=0.23 w/m².K - R=4,34 m².K/W Isolation par l'extérieur laine minérale 12 cm

## Châssis

Bois U= 1,52 W/ m².K

## Vitrage

Double vitrage U= 1,1 W/ m².K

## Chauffage

Chaudière gaz à condensation basse température

## Eau chaude sanitaire

Chaudière gaz à condensation haute température et chauffe-eau solaire

## Ventilation

4 groupes de ventilation avec récupérateur de chaleur

## Électricité

Panneaux photovoltaïque 15 m²

Fiche réalisée par la Passief Huis Platform

LEHR

CSTC - WTCB - BBRI

# Introduction

## Contexte

Suite au concours d'architecture de 1959, la cité-jardin Ban-Eik a été construite à Wezembeek-Oppem. Le quartier comprenait 150 maisons unifamiliales et 320 appartements répartis sur quatre immeubles et était considéré à l'époque comme un quartier exemplaire pour la construction de logements sociaux. Une combinaison de bâtiments à plusieurs étages et de constructions basses permettait une haute densité de logements, avec des espaces ouverts et verts. Les équipements des logements étaient également très modernes pour l'époque. Une chaufferie centrale assurait le chauffage du quartier (chauffage urbain). Vers les années 1990 la cité-jardin exemplairea évolué négativement, avec tous les problèmes liés à un quartier difficile qui tombait en déclin. Les bâtiments ne répondaient plus aux critères de confort contemporain, les équipements techniques et de sécurité incendie non plus. Les loyers étaient très bas pour permettre à une population à revenus faibles de se loger. Le vandalisme et le sentiment d'insécurité y constituaient de véritables problèmes. Une rénovation du quartier entier s'imposait clairement.

Lorsque la société de logement social a repris la cité-jardin, on a décidé de la revaloriser dans sa totalité, d'abord les maisons unifamiliales, puis les immeubles. Le plan initial prévoyait de démolir les blocs d'appartements et de les reconstruire ensuite. L'inconvénient de ce procédé était la réduction du nombre de logements car le nouveau plan urbanistique impose une restriction de trois niveaux pour la construction neuve. Etant donné que les bâtiments étaient encore en bon état au niveau de la structure, la société a opté en fin de compte pour une rénovation des appartements. L'immeuble Zonneveld était le premier en ligne. Il est identique à l'immeuble Sterrenveld et a été modernisé de façon traditionnelle. Ensuite, le bâtiment Sterrenveld a été rénové en basse énergie.

Ces deux immeubles pouvaient donc ensuite être comparés afin de peser le pour et le contre des deux procédés.

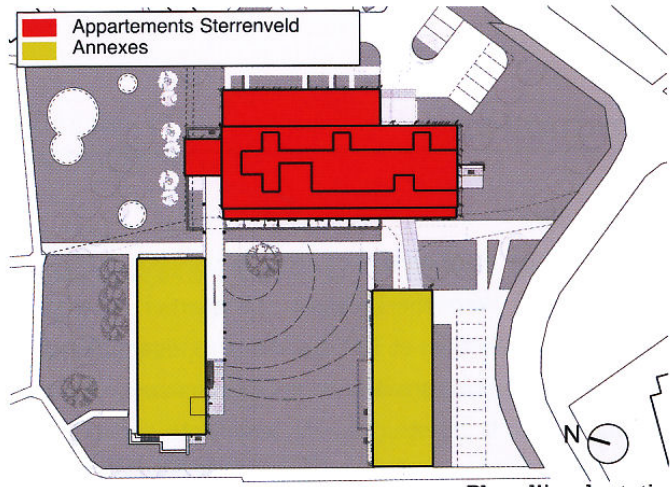
## Programme

Le projet Sterrenveld comprend la rénovation de l'immeuble et les deux annexes abritant une chaufferie et un magasin. La priorité de la rénovation était de proposer à une haute qualité de logement : un haut confort au moyen d'un plan d'aménagement adapté et de nouveaux équipements, l'adaptation des surfaces des appartements aux critères contemporains, une bonne orientation, la réduction de la consommation d'énergie et l'amélioration de l'acoustique. Lors de la rénovation de l'immeuble, le nombre d'appartements a été réduit de 89 à 61, tous répartis sur 10 étages et mixtes en fonction du nombre de chambres (1,2 ou 3). Ils étaient tous adaptés pour les personnes handicapées et deux appartements ont été transformés pour répondre aux principes de la construction.

L'immeuble accueille pour ces différentes raisons des locataires très divers.

La modernisation a complètement renoncé au plan d'aménagement original. Les locataires au rez-de-chaussée étaient transférés au premier étage afin de faire de la place pour de nouvelles habitations. Le fait que ceux-ci ne constituent plus une zone lugubre au rez-de-chaussée donne un sentiment de sécurité et entraîne une plus grande interaction avec les constructions basses environnantes. Les logements au rez-de-chaussée ont été conçus comme des habitations unifamiliales avec terrasse. Ils occupent deux étages et constituent ainsi la base du bâtiment. Le premier étage forme la séparation architecturale entre cette base et la superstructure et comprend les nouveaux boxs de stockage et les accès aux étages supérieurs. Dans cette superstructure (étages 2 à 10), on trouvait autrefois un couloir central menant aux entrées des appartements. À l'époque, celui-ci n'était ni ventilé ni éclairé par la lumière du jour. L'immeuble comportait par conséquent deux zones avec des appartements orientés vers le sud-ouest ou le nord-est. Le projet de rénovation a complètement renoncé à ce plan. Trois nouvelles cages d'escalier ont été ajoutées. Pour chaque étage, six appartements à double exposition (habitations avec au moins deux orientations opposées) ont été prévus, couplés par deux et équipés de terrasses individuelles. Ces terrasses ont été installées derrière une façade en verre pour qu'elles puissent faire fonction de jardin d'hiver et de balcon traditionnel en été lorsque les vitrages sont ouverts. Un nouvel étage au-dessus du bâtiment abrite les espaces techniques, ainsi que deux stations pour des opérateurs mobiles (GSM).

La vieille chaufferie et le magasin (déjà inoccupé au début de la rénovation) ont fait place aux autres équipements : Kind & Gezin, dispatching Croix Rouge, un local commun, des bureaux, le service technique de la société de logement social et le service d'aide à domicile.



Plan d'implantation.

Façade ouest après la rénovation.

**Travaux effectués**

- dénudation de l'immeuble
- ré-emploi de la structure en béton
- nouvelle structure pour les jardins d'hiver
- modification du plan d'aménagement + circulation
- isolation de l'enveloppe
- châssis extérieurs en bois, extérieur recouvert ou non d'aluminium + double vitrage
- ventilation mécanique avec récupération de chaleur
- capteurs solaires (tube sous vide)
- cellules photovoltaïques
- radiateurs à basse température
- appareils d'économie d'eau
- système de gestion centrale

Au 1er plan, l'immeuble Sterrenveld avec la façade latérale d'une annexe en avant.
Au second plan, l'immeuble Zonneveld.

## Conception architecturale

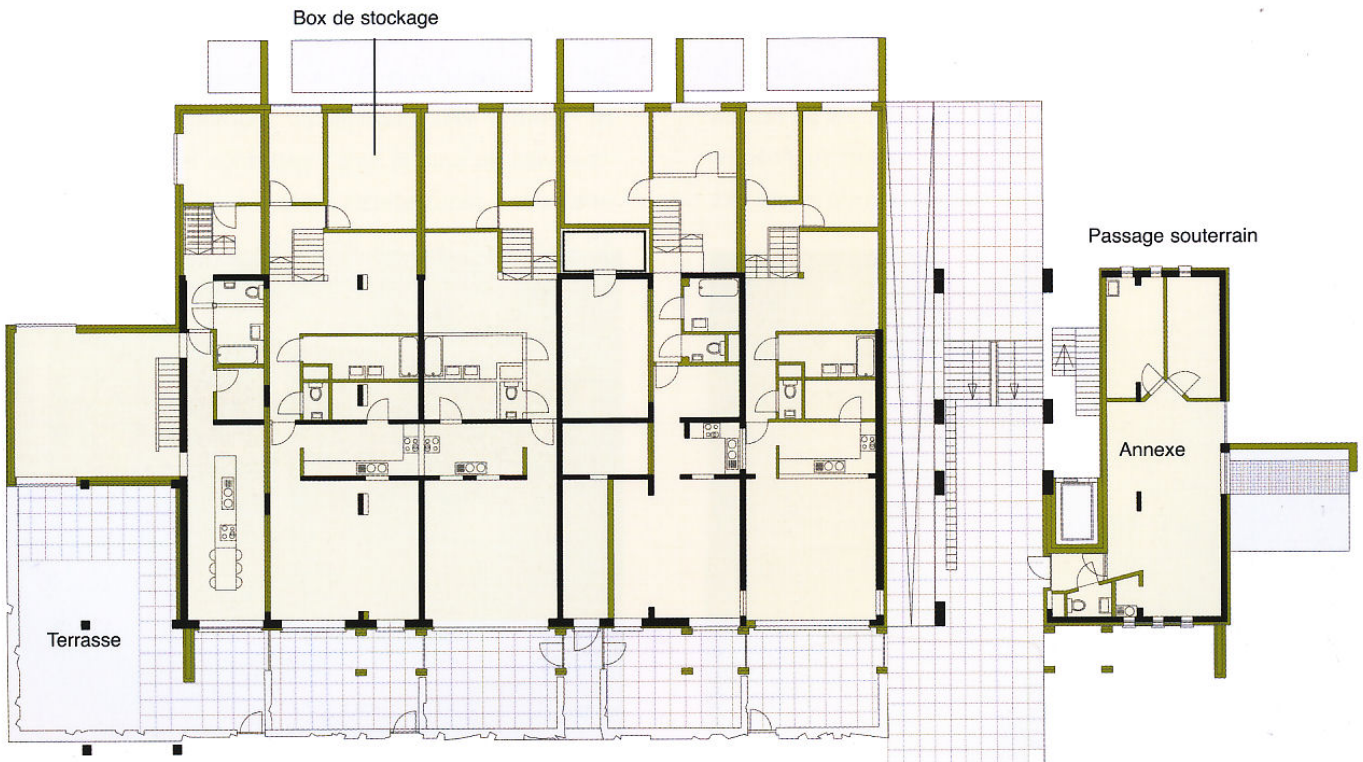
La rénovation a transformé l'immeuble classique des années 1960 en un immeuble à caractère contemporain. Non seulement à cause des matériaux choisis, mais également grâce au plan d'aménagement qui a été largement modifié notamment sur les façades. Le soubassement a été entièrement réalisé en bois et intègre les logements unifamiliaux, le premier étage est ouvert et transparent. Il inclut les boxs de stockage et les accès aux habitations supérieures ainsi que les appartement donnant sur la façade ouest en verre. Au niveau des terrasses, les parties en verre inférieures forment un parapet et les parties supérieures peuvent être ouvertes entièrement en fonction du choix des occupants. Cela crée une façade mobile que l'architecte a voulue ludique.

La façade a été couverte de panneaux de fibres blancs pour prolonger l'apparence blanche de la cité-jardin. Les murs intérieurs sont conçus comme des parois légères : un certain niveau de flexibilité est maintenu dans l'aménagement des appartements.

Vue sur une des annexes : la vieille chaufferie est rénovée et fait dorénavant fonction de local commun et de bureau.

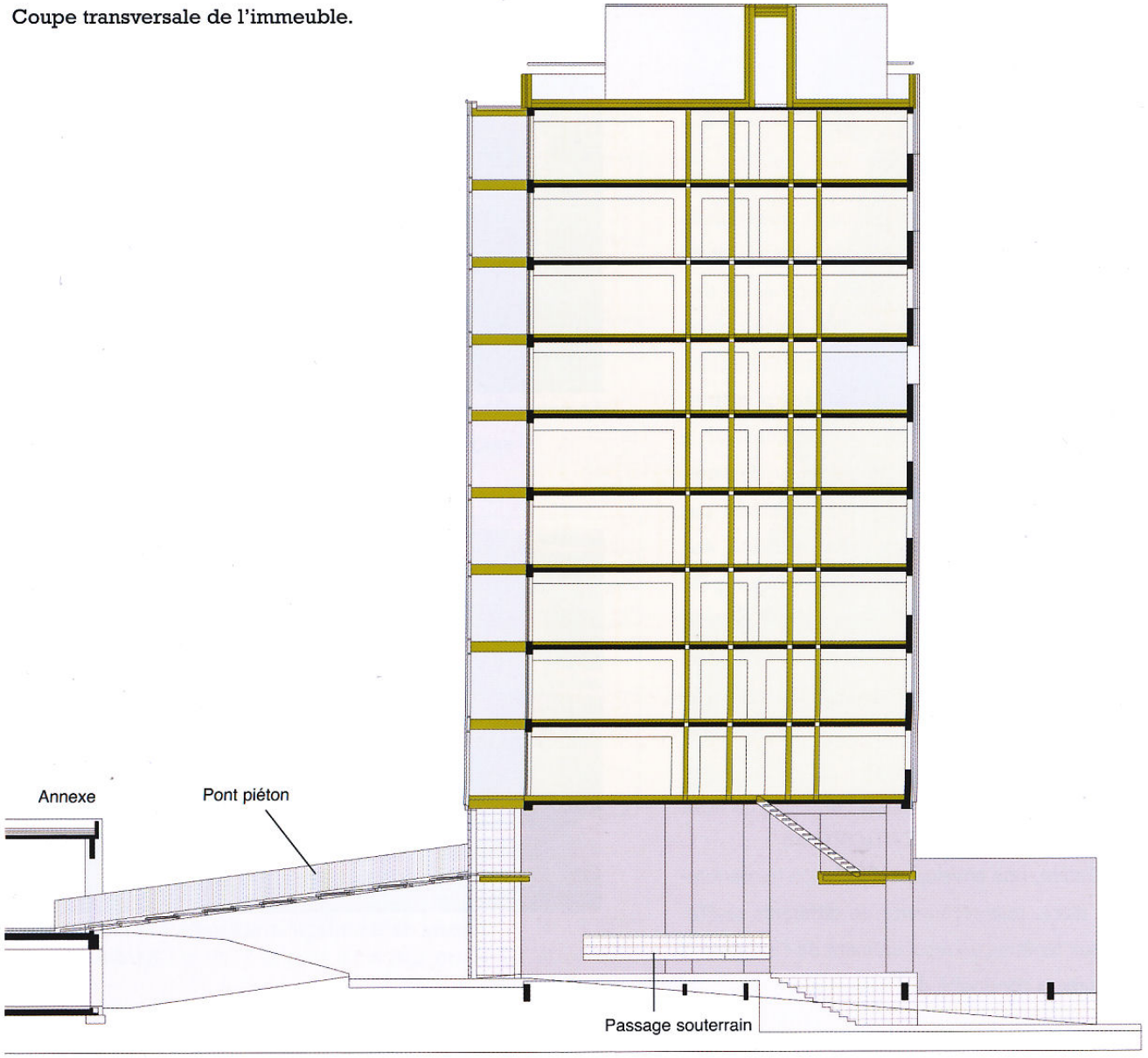
Façade ouest : les habitations unifamiliales avec terrasse au rez-de-chaussée et les box de stockage au premier étage.

Modèle du plan d'étage (étage + 7)
Niveau K appartement : 37
Niveau E appartement : 55




Rez-de-chaussée.

Coupe transversale de l'immeuble.



Vue sur le 1er étage. Box de stockage avec l'accès aux appartements supérieurs.

Terrasse et 1er étage.

## Amélioration de l'enveloppe

Lors de la rénovation, la structure porteuse en béton du bâtiment a été conservée et l'on a tenté de réduire au maximum le poids sur les colonnes existantes. Les terrasses et la façade vitrée forment une cloison de doublage structurelle composée de disques en béton et de colonnes en acier galvanisé. Cette cloison assure dorénavant la rigidité du bâtiment. Pour satisfaire à cette contrainte, la façade a été avancée d'à peu près deux mètres. Cette adaptation a multiplié les possibilités pour améliorer la qualité des appartements. Ils ont été répartis au moyen de parois légères pour que des modifications structurelles ne soient pas nécessaires et pour gagner un certain degré de flexibilité. Au-dessus de l'immeuble, un étage supplémentaire technique a été prévu, composé de blocs isolants en béton cellulaire et couvert d'isolation et de panneaux en fibre-ciment. Au rez-de-chaussée, le nouveau volume en bois qui s'étend à la façade Est a été construit en maçonnerie et a ensuite été recouvert d'un revêtement de façade en bois.

Le pont piéton mène au premier étage, le passage souterrain se trouve au rez-de-chaussée.

## Composition des parois rénovées

À l'extérieur du bâtiment, une enveloppe d'isolation ininterrompue a été mise en place, puis recouverte de différents revêtements de façade. Aux fenêtres,un recouvrement de l'isolation a été posée pour assurer la continuité de l'enveloppe.

**Composition des parois et valeurs U (existant – neuf)**

**Toiture (avant : U= 0,77 W/m$^2$ k)**

| | |
|---|---|
| Couverture | 1 cm |
| Isolation en laine minérale | 12 cm |
| Chape sur film PE (polyéthylène) | 4 cm |
| Panneau en béton | 15 cm |
| Plâtrage | 1 cm |
| **U = 0,28 W/m$^2$ k** | **33 cm** |

Cloison de doublage structurelle à la façade ouest (jardin d'hiver).

Vue des terasses vitrées. Les vitres supérieures peuvent être ouvertes ou fermées.

**Murs (avant : U= 2,78 W/m$^2$ k)**

| | |
|---|---|
| Bardage en fibre-ciment | 0,5 cm |
| Vide | 3 cm |
| Laine minérale | 15 cm |
| Béton | 18 cm |
| Plâtrage | 3 cm |
| **U = 0,23 W/m$^2$ k** | **39,5 cm** |

**Plafond au-dessus de l'extérieur du premier étage (avant : U= 6,66 W/m$^2$ k)**

| | |
|---|---|
| Dalles | 1 cm |
| Chape | 7 cm |
| Isolation acoustique aux bruits d'impact (feutre) | 1 cm |
| Isolation polyuréthane sur film PE | 3 cm |
| Béton armé | 15 cm |
| Isolation en laine minérale | 8 cm |
| Plâtrage extérieur | 2 cm |
| **U = 0,23 W/m$^2$ k** | **37,5 cm** |

Mise en place de l'isolation sur les façades en béton existantes.

**Fenêtres**

Châssis extérieurs en bois à double vitrage. La valeur U de l'ensemble s'élève à 1,52 W/m².K et celle du vitrage est de 1,1 W/m².K.

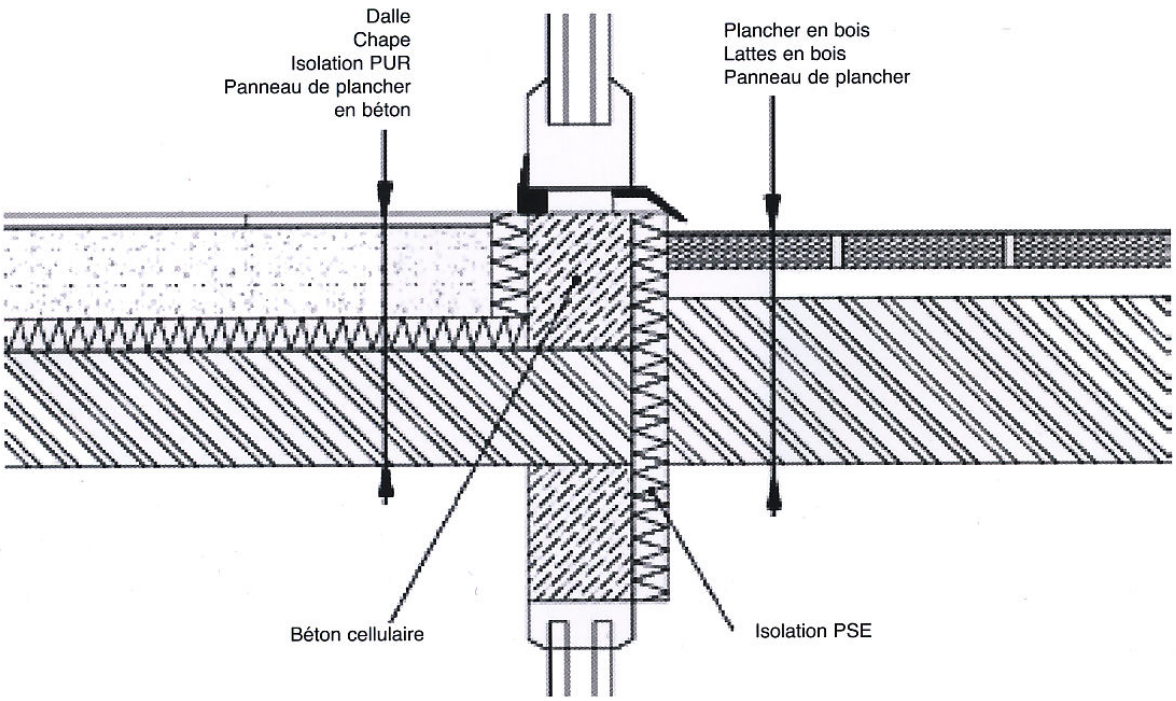
Interruption thermique entre l'appartement et le jardin d'hiver.

## Ponts thermiques

Un des objectifs du projet de rénovation a été l'élimination des ponts thermiques. Les défis les plus importants se situaient aux terrasses et aux raccords des différents types de revêtements de façade. À l'extérieur, le bâtiment a été complètement recouvert de matériaux de revêtements légers comme des panneaux en fibre-ciment, le revêtement de cèdre et le plâtrage extérieur. Une couche de laine minérale a été posée sous chaque revêtement. Les éléments structurels à l'extérieur ont été aussi revêtus et isolés, par exemple les colonnes et les poutres avec des plaques d'acier galvanisé. Les planchers entre les appartements ont été isolés au moyen de mousse de PUR. Les pont thermiques des terrasses (jardins d'hiver vitrés) ont été évités en séparant thermiquement la totalité de la nouvelle structure de la structure existante à l'aide d'un panneau d'isolation dur. Cette nouvelle structure a été attachée à la structure existante au moyen de mortier de colle. Le bâtiment existant est complètement recouvert d'isolation et les raccords entre les planchers intérieurs et extérieurs ont une isolation ininterrompue.

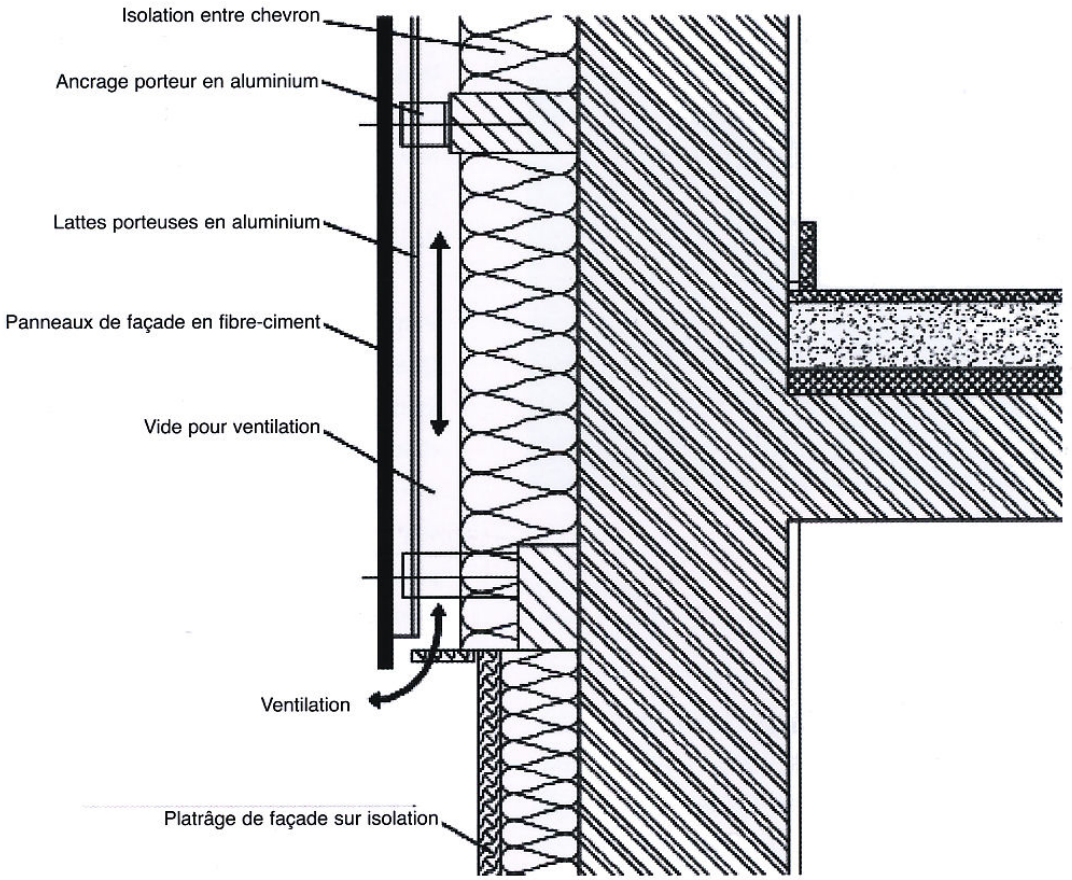
## Étanchéité

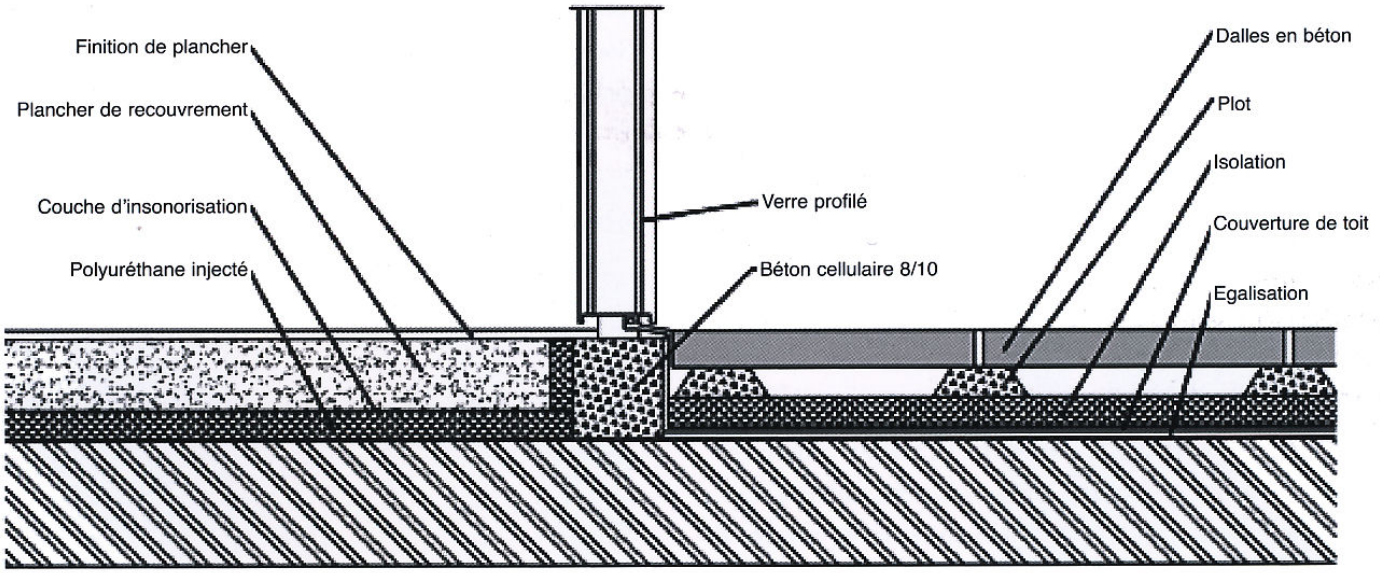
L'étanchéité des parois extérieures est assurée au moyen du plâtrage intérieur et du raccord étanche des fenêtres à la structure existante à l'aide de bavette EPDM.




**Détail constructif du plancher des appartements - jardin d'hiver.**

Détail façade.




Détail : raccord de plancher entre les boxs de stockage et le passage au premier étage.

Vue depuis un jardin d'hiver.

## Stratégies thermiques

### L'hiver

En hiver, on tente d'utiliser les gains solaires de façon optimale. Les appartements à double exposition ont une orientation sud-ouest, ce qui permet l'exposition au soleil en matinée ainsi que l'après-midi. Les jardins d'hiver à la façade ouest, qui ne font pas partie du volume protégé et ne sont donc pas chauffés, font office de tampon thermique lors des intempéries. Le rayonnement solaire absorbé par la paroi vitrée produit un effet de serre. La mise en place d'un système de ventilation mécanique avec récupération de chaleur permet une diminution des besoins de chauffage car l'air frais amené passe par un échangeur de chaleur qui le préchauffe. Il ne se produit donc pas de courants d'air froids. Si besoin, un chauffage supplémentaire est assuré par des radiateurs à basse température.

### L'été

En été il faut lutter contre la surchauffe. Le meilleur moyen est de diminuer les apports solaires. La présence des jardins d'hiver permet une ombre suffisante dans les appartements orientés à l'est. Si ils sont fermés, ces jardins peuvent faire office de tampon thermique. En ouvrant la partie supérieure vitrée, le jardin d'hiver sert de terrasse.

### Énergie

La distribution des conduites techniques au travers des différents blocs d'habitation s'effectue au moyen de six conduits verticaux dont chacun a été mis en place de façon centrale. L'aménagement des appartements au rez-de-chaussée est différent de celui des appartements du haut. Aux étages, le tracé des conduits a du être ajusté en fonction du plan d'aménagement et de la hauteur libre des espaces.

### Ventilation

Quatre groupes ont été installés : deux groupes plus petits utilisant un seul conduit et deux groupes plus grands occupent chacun, deux conduits. L'installation centrale des conduits permet l'arrivée et l'évacuation d'air sans que la hauteur d'étage ne soit réduite. La ventilation permet l'évacuation de l'air vicié des pièces humides (salle de bains et cuisine ). L'arrivée d'air frais dans les chambres et les pièces de vie. Chaque groupe d'air est équipé d'un système de récupération de chaleur. Pour cela, trois systèmes différents ont été employés :

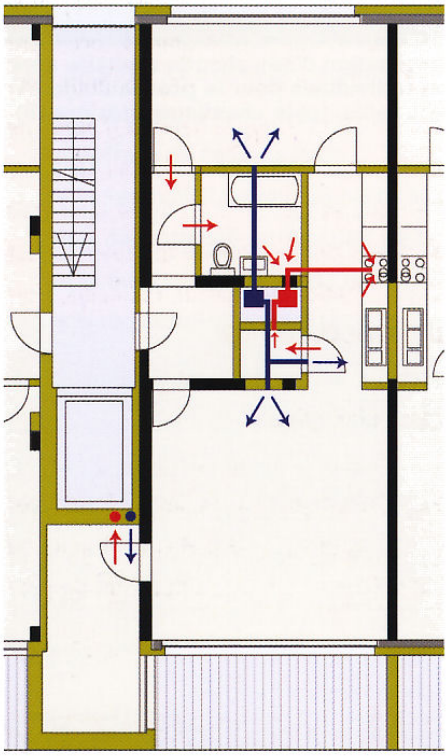
- échangeur à plaques
- échangeur à caloduc (« heatpipe »)
- échangeur rotatif

Grâce à des mesures de contrôle permanentes, les performances des différents systèmes peuvent être vérifiées et constituent une source d'expérimentation précieuse pour la conception de projets futurs.

Vues sur les box de stockage et les accès aux appartements supérieurs. Les colonnes à l'extérieur sont été isolées et recouvertes d'un revêtement de façade.

Les chambres situées sur la façade ouest sont éloignées de la zone centrale. Les canaux de ventilation ne se répandent pas au moyen des conduits verticaux centraux mais à l'aide des conduites derrière les ascenseurs Ils sont connectés par travée individuelle à un échangeur de chaleur domestique séparé.

Groupe de ventilation.



Plan de ventilation d'un appartement.

**Chauffage**

Le projet de rénovation avait totalement renoncé à l'idée de chauffage urbain car celui-ci entraîne plus d'inconvénients que d'avantages (déperditions de chaleur au travers des conduits, fuites, coûts d'exploitation élevés ...). Le bâtiment a donc été équipé d'un système de chauffage collectif. Des radiateurs à basse température (50°c-70°c) ont été installés dans les appartements pour le chauffage supplémentaire des pièces et l'eau chaude sanitaire est chauffée par une chaudière gaz à condensation.

Pulsion dans les pièces de vie.

Echangeur de chaleur domestique pour les chambres.

**Eau chaude sanitaire**

L'eau chaude sanitaire est produite de deux façons.

**Deux chaudières à gaz à condensation :**

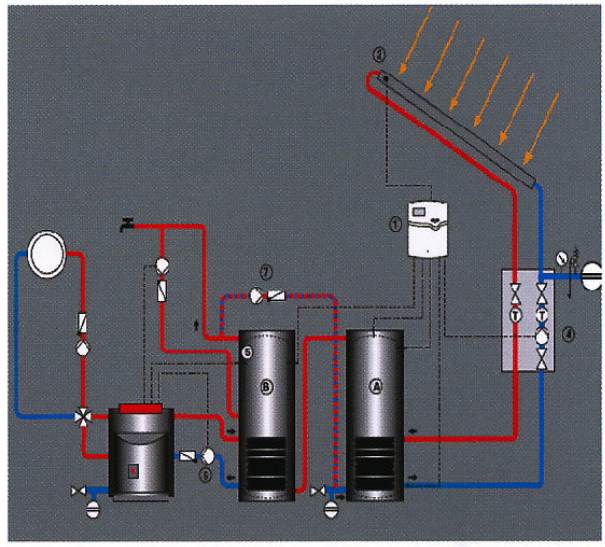
- l'une commande des systèmes à haute température (groupes d'air, chauffage ultérieur d'eau chaude sanitaire)
- l'autre commande les systèmes à basse température (radiateurs).

En séparant ces deux systèmes, l'effet des systèmes à basse température sur la performance de la chaudière peut être vérifié.

Un by-pass a été installé entre les deux chaudières afin de pouvoir intervenir en cas de panne.

**Chauffe-eau solaire**

La deuxième méthode de préparation d'eau chaude sanitaire utilise un chauffe-eau solaire. Sur le toit, 30 m² de capteurs solaires à tubes sous vide ont été installés. Ce système a été choisi à cause de la surface restreinte du toit de l'immeuble (antennes GSM et terrasses) ; les capteurs sous vide peuvent être montés verticalement contre la façade et la surface de panneaux nécessaires est plus réduite que pour des capteurs plans. Le système des tubes sous vide fonctionne avec une solution de glycol qui passe par un tube capillaire à double paroi. Les capteurs solaires absorbent le rayonnement et diffusent la chaleur accumulée dans les tubes. Les capteurs et le tube capillaire à double paroi se trouvent dans un autre tube en verre sous vide. Puisqu'un vide absolu ne contient pas de matière, des déperditions de chaleur par conduction sont impossibles. L'utilisation de glycol (antigel) comme moyen de transport implique un léger inconvénient : ce type d'installation est très sensible aux bulles d'air. Le purgeur manuel de l'installation doit rester dans un lieu accessible. Etant donné les hautes températures et les pressions, la purge automatique n'a pas pu être pratiquée. L'antigel organique entraîne lui aussi des problématiques comme la production de gaz, l'acidification en cas d'exposition ou de stagnation quand les températures sont trop élevées (obstruction des éléments de filtrage).

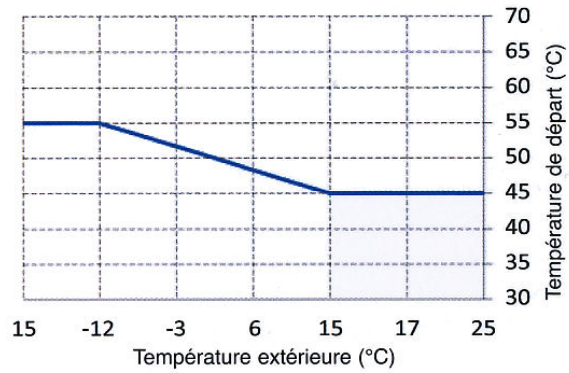



La préparation d'eau chaude sanitaire avec des réservoir individuels pour le préchauffage (A) et le chauffage ultérieur (B).

## Courbe de chauffage

La température de départ pour le chauffage est déterminée par une sonde extérieure. Cette température reste stable au cas où la température extérieure dépasse la limite inférieure de -12°C ou la limite supérieure de +15°C. Pour des températures inférieures à -12°C la température de départ est fixée à 55°C et pour des températures supérieures à +15°C, elle est fixée à 45°C. Entre ces deux limites la température d'amenée varie en fonction de la température extérieure mesurée.

Pour l'instant la limite inférieure est fixée à -12°C, mais celle-ci sera encore ajustée en fonction de la température la plus basse mesurée.



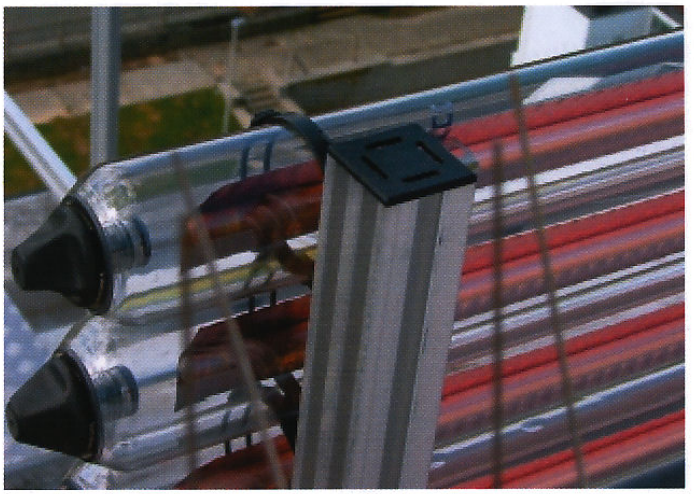
La surface de toit d'un tel bâtiment étant plutôt restreinte par rapport au besoin d'eau chaude des appartements, le système du chauffe-eau solaire n'est pas optimisé. Il a malgré tout été installé afin de vérifier sa performance potentielle.
Le préchauffage d'eau chaude sanitaire s'effectue à l'aide des capteurs solaires, le chauffage ultérieur au moyen de la chaudière à gaz à condensation. Ces deux stades de chauffage sont séparés en divisant les réservoirs tampon : l'un (réservoir A) contient l'eau chaude sanitaire produite par les capteurs solaires (préchauffage), l'autre (réservoir B) l'eau chaude sanitaire produite par la chaudière à gaz (chauffage ultérieur).

Cela présente les avantages suivants :

- le capteur solaire fonctionne effectivement comme préchauffage de l'eau sanitaire
- le réservoir tampon connecté aux capteurs solaires doit être dimensionné en fonction de la consommation de jour effective (maximisation du nombre d'heures de travail)
- le réservoir connecté à la chaudière doit être dimensionné en fonction de la consommation de pointe. Un chauffe-eau instantané aurait été encore plus utile à cet égard
- un boiler commun pourvoit à la préparation d'eau chaude sanitaire et au chauffage des appartements

Le principal inconvénient de ce système est qu'il nécessite un investissement très important. Au total, cinq réservoirs tampon ont été installés : trois réservoirs de 1000 litres pour le préchauffage et deux réservoirs de 300 litres pour le chauffage ultérieur.

**Les capteurs solaires (tubes sous vides) montés verticalement.**



**Détail des tubes sous vides.**

**Panneaux phovoltaïques sur le toit.**

### Électricité

Des panneaux photovoltaïque (15 m²) avec une puissance de 1,9 kWc ont été montés sur le toit de l'immeuble pour l'approvisionnement en électricité de l'installation technique. Pour le besoin d'électricité restant, on fait appel au réseau et des mesures d'économie d'énergie ont été prises afin de réduire la consommation.
Grâce à la nouvelle conception architecturale, l'adaptation de la circulation verticale permettait la création d'appartements à double exposition et ainsi la mise à profit optimale de la lumière du jour, ce qui réduit nettement le besoin de lumière artificielle. Ce besoin de lumière artificielle, quand il existe, est conçu pour économiser l'énergie au maximum. L'éclairage du passage se réalise au moyen des lampes fluorescentes connectées à une photocellule, un petit tube qui assure la détection des mouvements. Celle-ci permet l'activation automatique des lampes en cas d'obscurité et contribue ainsi au sentiment de sécurité le soir

Les jardins d'hiver se trouvent derrière la façade vitrée.

Deux réservoirs tampon de 300 l chacun au 1er plan et trois réservoirs tampon de 1000 l chacun au 2sd plan.

Toit vert.

et la nuit. L'éclairage des parties communes est activé par des détecteurs de mouvement et les parties moins fréquentées sont équipées de boutons-poussoirs avec minuterie. Dans les armatures connectées aux boutons-poussoirs, des ampoules ont été installées à la place des lampes fluorescentes car celles-ci résistent mieux à l'activation fréquente pour de courtes périodes.

## Environnement

### Eau

Pour l'approvisionnement en eau, on a également opté pour des solutions durables. Les robinets installés dans les appartements contribuent à une consommation d'eau réduite : pour ouvrir un robinet entièrement il faut en effet venir à bout d'une résistance supplémentaire. Si le robinet est ouvert en première position, l'eau s'en écoule à bas débit. Pour obtenir un débit plus haut il faut dépasser une résistance supplémentaire. Ce système permet de réduire le débit de manière significative. Pour les toilettes, des systèmes à chasse d'eau économique (2,5 l et 4 l) ont été choisis.

La collecte des eaux de pluie n'a pas pû être réalisée lors de la rénovation de l'immeuble. Les coûts d'installation s'avèrent plus élevés que pour des habitations ordinaires et ne sont pas rentables pour cet immeuble collectif.

### Matériaux et procédés constructifs

Le choix de réemployer le bâtiment constitue la décision la plus importante pour le développement durable. La démarche durage a aussi été prise en compte dans l'usage des matériaux. Une partie du revêtement de façade a été composée de panneaux en fibre-ciment et les châssis extérieurs sont en bois et en bois - aluminium à l'extérieur.

### Mobilité

Le quartier de l'immeuble est facilement accessible en transports en commun. La présence d'un parking vélo dans le bâtiment encourage les déplacements à vélo.

### Biodiversité

Dans le quartier il y a des espaces verts et les environs sont aménagés de nouveau par la commune. Une toiture végétalisée a été installée sur le toit des nouvelles habitations du rez-de-chaussée.

# Expériences à partager

### Chauffage

Lors d'une rénovation basse énergie ou passive il est très important de sensibiliser les occupants. L'usage des jardins d'hiver en est un exemple. Former les locataires à l'utilité des jardins comme tampon et à l'ouverture ou à la fermeture de la façade vitrée est important pour agir sur les besoins de chauffage. La consommation de l'immeuble est suivie avec précision pour ajuster au mieux la demande. On a ainsi pu constater un problème sur la chaudière à gaz : celle-ci était surdimensionnée, elle ne pouvait pas répondre efficacement aux besoins de chauffage limités. En effet elle se mettait en marche et s'arrêtait constamment. La performance prévue était de 100 %, tandis que la performance mesurée n'est que 84 %. Sensibiliser les occupants et les convaincre d'utiliser davantage les radiateurs a donc été utile. La chaudière a été réglée à basse température et la consommation générale a diminué.

### Gestion et maintenance

L'un des objectifs de ce projet a étét de rechercher les performances des installations utilisées dans le cadre spécifique de la construction des logements sociaux collectifs. Pour optimiser cette recherche, deux mesures ont été prises : d'une part la mise en place d'instruments de mesure et d'autre part, l'installation d'un système de gestion du bâtiment (SGB). Ce système permet l'optimalisation des différentes installations ainsi que le contrôle de leurs performances énergétiques.

Des rapports de performance énergétiques sont générés régulièrement qui font ressortir les disfonctionnements. On tente de résoudre les problèmes en informant les occupants et en corrigeant le réglage des installations pour optimiser les techniques disponibles.

### Consommation

En faisant des mesures à Sterrenveld ainsi qu'à Zonneveld, on peut tirer des conclusions intéressantes sur la consommation d'énergie des deux immeubles et, par la suite, vérifier les avantages et inconvénients d'une rénovation classique par rapport à une rénovation basse énergie.

Comparaison entre les données de consommation des immeubles Zonneveld et Sterrenveld. Il faut noter que, à cause des choix de projet (cage d'escalier et circulation à l'extérieur) la surface de déperditions de Sterrenveld est plus grande que celle de Zonneveld.

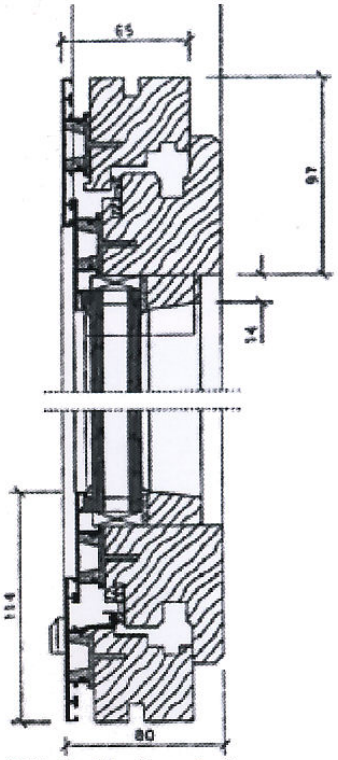
**Données de consommation de l'immeuble Sterrenveld**
(selon les calculs PEB flamands)

- volume chauffé 14.000 $m^3$
- surface de déperditions 4.728 $m^2$
- compacité 2,96 M

| | 15.10.07 - 15.10.08 | | 15.10.08 - 15.10.09 | |
|---|---|---|---|---|
| | Zonneveld 70 appar. | Sterrenveld 61 appar. | Zonneveld 70 appar | Sterrenveld 60 appar. |
| Eau chaude (L) | 1.066.320 | 1.104.120 | 1.123.340 | 1.030.170 |
| kWh/l eau chaude | 0,090517 | 0,075487 | 0,084169 | 0,068720 |
| % d'économie chauffe-eau solaire | | 16,60% | | 18,35% |
| Eau chaude (kWh) | 95.520 | 83.346,60 | 94.550 | 70.7923 |
| Chauffage (kWh) | 248.193 | 255.203 | 264.887 | 247.935 |
| Groupe air | | 8.066,7 | | 11.740 |
| Déperdition (kWh) | 215.747 | 142.401 | 207.083 | 131.026 |
| Total (kWh) | 560.460 | 489.017,3 | 566.520 | 461.494 |
| % déperdition | 238,5% | 29,1% | 36,6% | 27,7% |
| Gain net surface chauffée | | 71.442,7 | | 93.286 |
| # $m^2$ surface chauffée | 4.600 | 4.845,52 | 4.600 | 4.845,52 |
| kWh/$m^2$ par période | 100,9 | 83,7 | 102,6 | 80,6 |

| Consommation | kWh/$m^2$.an |
|---|---|
| Consommation d'énergie primaire avant la rénovation (chauffage + eau chaude)* | 150 |
| Consommation d'énergie primaire après la rénovation (chauffage + eau chaude)* | 75 |

Fenêtres de la façade ouest.




Détail châssis en bois avec couverture en aluminium.

## Conclusion

L'un des objectifs de ce projet de rénovation basse énergie de l'immeuble Sterrenveld était d'effectuer un projet d'étude pour des rénovations futures des logements sociaux collectifs. La rénovation classique simultanée de l'immeuble identique Zonneveld permet de peser le pour et le contre des deux stratégies et de brosser un tableau clair de l'impact d'une rénovation basse énergie sur ce type de bâtiment. À Zonneveld ainsi qu'à Sterrenveld l'installation technique entière est contrôlée et gérée, ce qui aboutit à quelques conclusions intéressantes. D'abord l'intérêt d'un bon suivi et le réglage des installations est souligné. Les problèmes peuvent être identifiés et corrigés. À Sterrenveld par exemple, le chauffe-eau solaire devait être adapté avant de fonctionner de façon optimale. D'autre part, la différence de niveau d'isolation entre les deux immeubles se montre clairement dans les mesures. L'influence des occupants eux-mêmes est également nettement visible : à Sterrenveld la température de confort exigée par les occupants est considérablement inférieure à celle de Zonneveld.

Le projet Sterrenveld démontre que la rénovation basse énergie exige une approche intégrée. À cet égard il est important que tous les acteurs du processus de construction poursuivent le même but. L'intérêt d'un avant-projet bien fait, visant tous les aspects du bâtiment, est également clair : si certaines dispositions ou recherches sont négligées, il sera difficile de les intégrer dans une phase ultérieure.

Ce bâtiment a retrouvé sa fonction exemplaire pour la construction durable des logements sociaux collectifs.

Le passage souterrain au rez-de-chaussée,
au-dessous du pont piétonnier.

Le pont piétonnier donne accès au 1er étage au niveau des box de stockage des appartements.

Vue depuis l'immeuble Sterrenveld, sur l'immeuble Zonneveld rénové antérieurement.

Laine de roche

Brique

# Maison à Anvers

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Maison unifamiliale

Calendrier | Début 2002 - Fin 2002

Programme de la rénovation | Habitation unifamiliale (division en appartements possible)

Besoins en chauffage et ECS | 96 kWh/m²

Besoins en chauffage après travaux | 56 kWh/m²

Surface brute | 128 m²

## Particularités du projet

Isolation par l'extérieur

Échangeur de chaleur

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Famille Marrecau - Van Pellicom

## Standard énergétique

Très basse énergie

## Techniques d'isolation et matériaux

Façade arrière et isolation par l'extérieur |

Isolation avec PU 11 cm + polystyrène expansé 4 cm

U=0,15 W/m²K R=6,66 m².K/W

Toitures |

Isolation par l'intérieur : 14 cm laine minérale + PU 16 cm

U=0.09 W/m².K - R=11,11 m².K/W

## Châssis

Bois-aluminium avec rupteur thermique 1,1 W/m².K

## Vitrage

Triple vitrage U=0.8 W/m².K

## Chauffage

Chaudière gaz à condensation

## Eau chaude sanitaire

Production par la chaudière avec échangeur eau chaude eau froide

Possibilité de raccorder un chauffe-eau solaire

## Ventilation

Puits canadien avec ventilation double flux et récupération de chaleur

## Électricité

Panneaux photovoltaïques 40 m²

Fiche réalisée par la Passief Huis Platform

LEHR

CSTC - WTCB - BBRI

## Descriptif de la rénovation

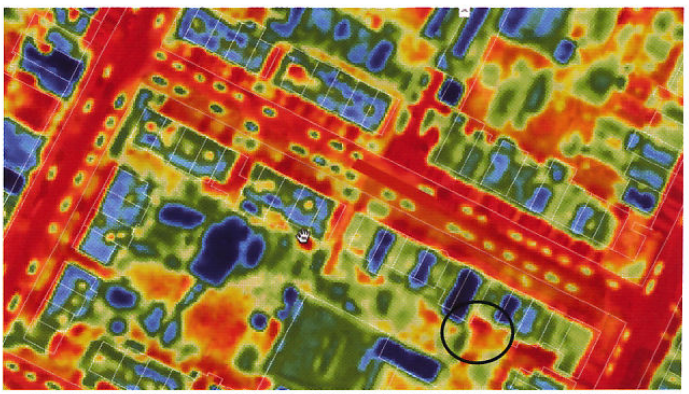
### Situation

Il y a quelques années, les propriétaires de cette maison cherchaient une nouvelle habitation urbaine avec un jardin à l'arrière. L'idée initiale ne comportait que l'adaptation aux exigences de confort actuelles et quelques mesures d'économie d'énergie. Finalement, les propriétaires ont choisi d'aller plus loin dans une tentative d'approche du standard passif. La maison s'y prêtait notamment grâce à l'orientation sud de la façade arrière. La rénovation s'est déroulée en trois phases d'exécution. Le maître d'ouvrage a effectué une partie considérable des travaux puisque les deux premieres phases, constituant la partie principale de la rénovation, ont été réalisés par lui-même.

L'habitation a été modernisée en vue d'une occupation unifamiliale à 4 personnes (2 parents + 2 enfants). Le volume protégé du bâtiment comprend un rez-de-chaussée (cuisine et pièce de vie) et un étage (trois chambres, salle de bains et bureau).

La cave fait office de garage et de rangement. Ce niveau se trouve actuellement hors du volume protégé, mais peut y être intégré, soit dans sa totalité, soit en partie, au fur et à mesure des besoins futurs.

Pour l'instant le jardin situé à l'arrière n'est accessible que par ce niveau, mais les propriétaires envisagent dans le futur un deuxième accès à partir des pièces de vie du premier niveau.

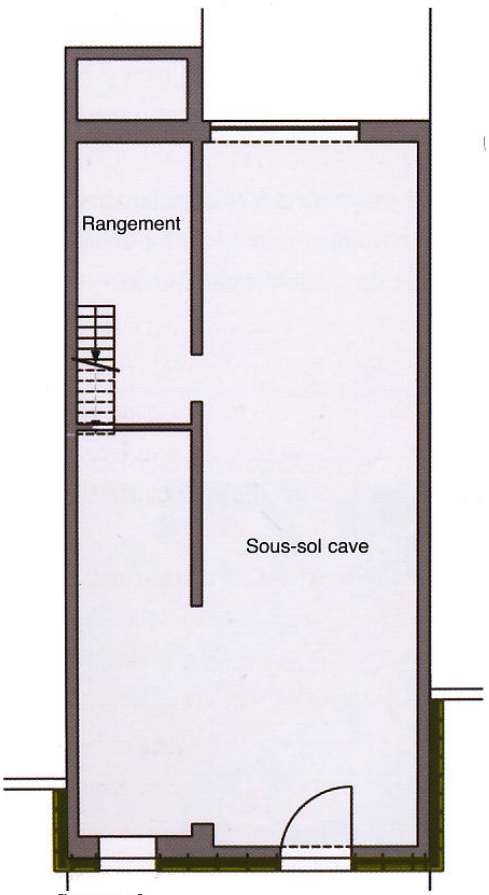


Carte thermographique des environs avec indication de la maison. Du bleu foncé au rouge : qualité d'isolation allant de très bonne à très mauvaise.

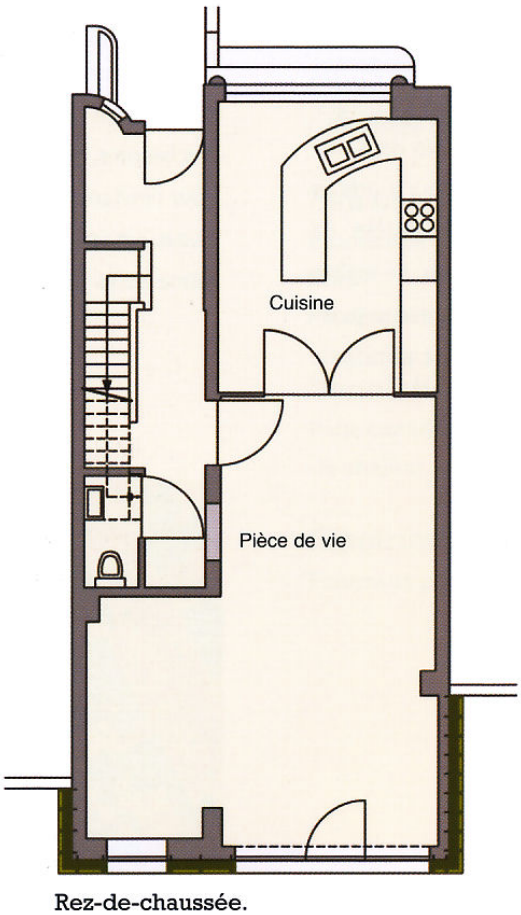
## Conception architecturale

La maison a été construite dans la période d'entre-deux-guerres et elle en a les caractéristiques architecturales, comme la mise en forme de la façade avant et la fenêtre intérieure entre la cuisine et la pièce de vie. Du point de vue architectural, la façade arrière est d'une qualité inférieure. La rénovation lui a donné un caractère contemporain par l'adaptation des baies et la mise en place d'un bardage en bois. Les propriétaires ont réfléchi sur la méthode d'isolation de la façade avant : soit à l'extérieur, entraînant une perte de sa qualité architecturale, soit à l'intérieur, ce qui réduit la surface du plancher. Lors des deux premiers stades de rénovation, le maître d'ouvrage a tenu compte des deux options, tout en réservant le choix futur. Un vide a par exemple été conservé entre le meuble de cuisine et la façade pour permettre une isolation intérieure ultérieure.

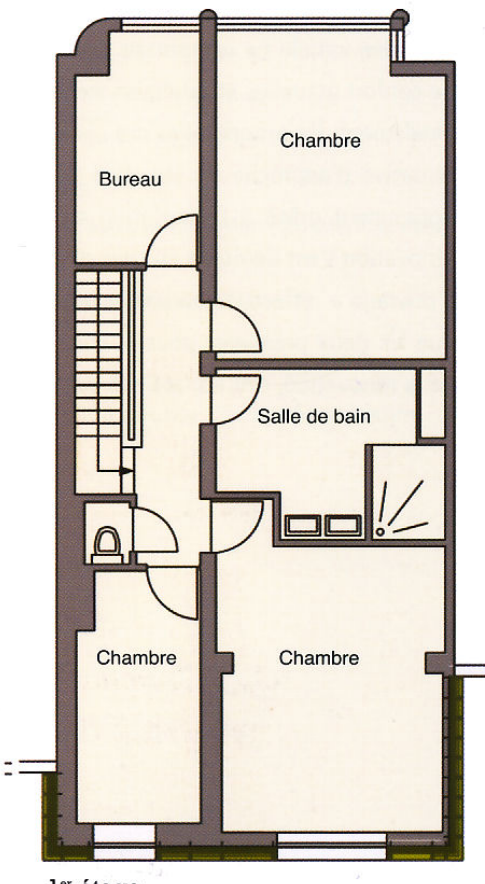
Salle de séjour et cuisine.



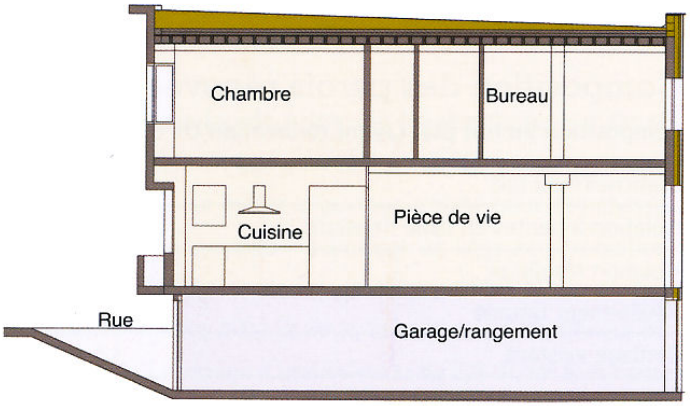

Sous-sol.




Rez-de-chaussée.




1er étage.




Coupe transversale.

## Amélioration de l'enveloppe

La façade arrière existante est construite en maçonnerie et a une épaisseur de 18 cm. Elle a été isolée par 11 cm d'isolation résolique et 4 cm d'isolation EPS (polystyrène expansé) entre les lattes en bois. Après l'installation du pare-pluie ouvert à la diffusion de vapeur d'eau, la façade a été parachevée par un bardage en bois. À l'intérieur, la maçonnerie existante comporte un enduit de finition à argile. La bonne exécution des travaux est un des aspects essentiels d'une rénovation basse énergie. Ainsi, en enlevant les échafaudages, après la pose du bardage, le propriétaire a constaté que les points d'attaches n'avaient pas été isolés ce qui causait des ponts thermiques ponctuels. Le propriétaire a remarqué cet aspect négatif après coup à l'aide d'une thermographie. La continuité de l'étanchéité du pare-vapeur nécessitait également de l'attention. C'est le maître d'ouvrage qui l'a réalisé, mais dans le cas où son exécution est réalisée par une entreprise externe, celle-ci doit être compétente. La toiture en bois était en très bon état et pouvait être préservée. Les vides existants ont été coupés au-dessus du toit afin de garantir la continuité de la nouvelle isolation tout au long de la surface du toit et ainsi d'éviter les ponts thermiques. L'idée originale était d'employer le revêtement bitumé existant comme pare-vapeur, malheureusement, il n'était plus en bon état, il a été remplacé. Au-dessus du revêtement bitumé, 16 cm d'isolation résolique a été posée sous forme de panneaux croisé de fois 8 cms. Aux chapeaux de la toiture, où le bon raccordement avec les panneaux isolants est difficile à réaliser, des granulés de liège isolants ont été utilisés pour les raccords. Pour obtenir un bon écoulement des eaux du toit plat, un isolant à pente de 5 à 23 cm a été posé. Puisque la hauteur initiale des bords de toit ne suffisait plus en raison de l'épaisseur de l'isolation, ils ont été surélevés et pourvus d'une interruption thermique en verre cellulaire.

Façade arrière avant rénovation.

**Trois phases d'exécution pour cette rénovation**

**Phase 1**

- travaux de démolition + dénudation interne
- chauffage mural
- Plâtrage en argile
- chaudière gaz à condensation
- châssis passifs à triple vitrage
- ventilation double flux avec récupération de chaleur
- puits canadien

**Phase 2**

- isolation des façades avant et latérale de l'extérieur
- isolation du toit existant
- échangeur de chaleur pour la douche
- cellules photovoltaïques : 40 m²

**Phase 3**

- isolation de la façade avant
- ilsolation du plancher du rez-de-chaussée
- capteurs solaires

Façade arrière en cours d'achèvement.

## Composition des parois rénovées

**Composition du toit plat (avant rénovation U= 4,17w/m²K)**

| | |
|---|---|
| Étanchéité du toit | |
| Isolation à pentes en laine minérale | 14 cm |
| Isolation résolique | 16 cm |
| Revêtement bitumé | |
| Bardage existant | 1,5 cm |
| Structure porteuse en bois existante | 18 cm |
| Plaque fibro-plâtre | 1,5 cm |
| **U = 0.09 w/m²K** | **50,95 cm** |

**Façade arrière (avant rénovation U= 2,25 W/m²K)**

| | |
|---|---|
| Bardage en bois rectifié | 0,9 cm |
| Lattes en bois 4 x 4 cm | 4 cm |
| Pare-vapeur et pare-pluie | |
| Isolation EPS (polystyrène expansé) entre les lattes en bois | 4 cm |
| Isolation résolique | 11 cm |
| Maçonnerie existante en brique pleine | 18 cm |
| Plâtrage en argile | 1,5 cm |
| **U = 0.15 w/m²K** | **39,40 cm** |

Surrélévation des bords de toit, emplacement de l'ancienne cheminée.

Isolation de la façade arrière.

**Fenêtres**

Les fenêtres de la façade arrière ont été remplacées par des châssis passifs à triple vitrage pour réduire les déperditions de chaleur via les fenêtres. Le maître d'ouvrage a opté pour des châssis en bois avec une interruption thermique en liège et une finition en aluminium à l'extérieur. La valeur U des profils latéraux et du profil supérieur s'élève à 1,1 W m².K, et celle du profil inférieur est de 1,4 W/m².K. Le vitrage a une valeur U de 0,8 W/m².K et l'ensemble de la fenêtre a une valeur U de 0,91 W/m².K. L'étanchéité à l'air des châssis et de l'isolant ont nécessité un travail soigné. Ceci est essentiel pour la construction passive.

Construction d'essai de l'isolation de façade (isolant résolique + EPS) et pare pluie.

Mise en place de l'isolation de la façade arrière aux châssis extérieurs.

Isolation de la façade.

Étanchéité du pare pluie aux fenêtres.

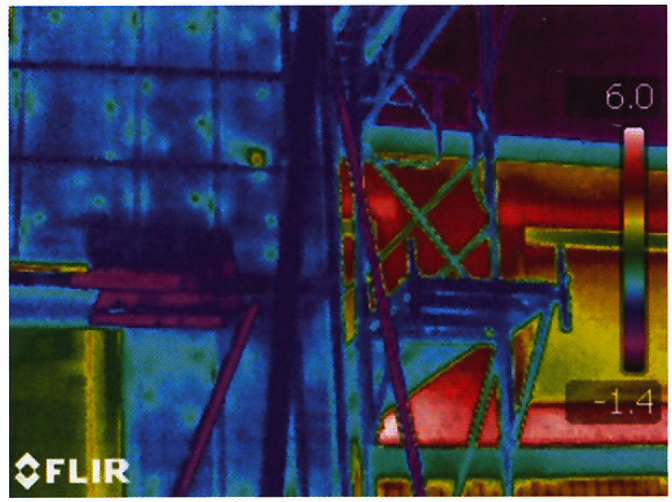
## Ponts thermiques

Lors de l'isolation de la façade arrière et du toit, on a veillé à la prévention ou l'élimination des ponts thermiques. Ainsi le pont thermique au point d'attache du toit et la façade arrière a été éliminé par une interruption thermique en verre cellulaire qui permet à l'isolation de la façade de rejoindre celle du toit. L'isolation du plancher du rez-de-chaussée et de la façade avant, de même que la réalisation d'un raccord avec l'isolation déjà présente, créant ainsi une enveloppe d'isolation ininterrompue sont prévus ultérieurement. La forme irrégulière de la façade avant a entraîné bien des problèmes et demande alors une bonne dose de créativité pour concevoir des solutions appropriées.

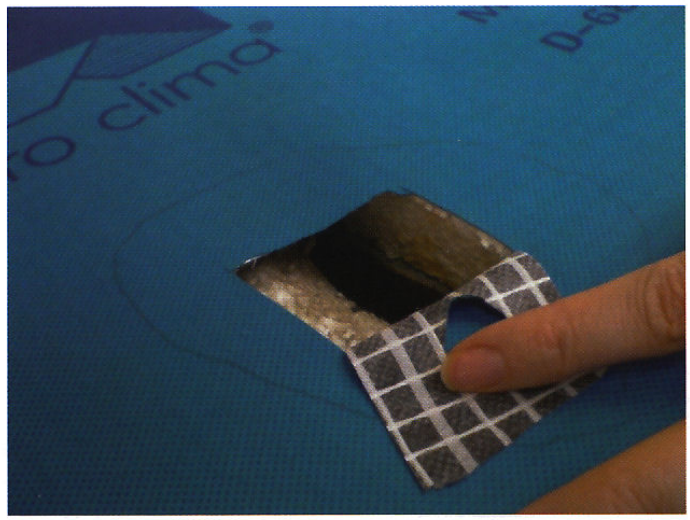
Les raccords des façades avant et arrière aux murs séparatifs demeurent des points problématiques. Le pont thermique à ce niveau est difficile à éliminer lorsque les habitations avoisinantes ne sont pas isolées. Une isolation intérieure sur une longueur limitée, permettant la réduction du pont thermique, constitue une solution possible.

## Étanchéité

L'étanchéité de la façade arrière a été réalisée par le plâtrage intérieur et des châssis extérieurs triple vitrage. Le pare-vapeur du toit plat (revêtement bitumé) permet l'étanchéité du toit. Le dernier test BlowDoor indiquait un taux d'infiltration de 4 Vol/h, soit 4 volumes par heure pour une différence de pression de 50 Pa. Ce chiffre dépasse amplement le maximum exigé de 0,6 Vol/h, mais diminuera considérablement après la rénovation de la façade avant et le plancher vers la cave lors des prochains travaux.

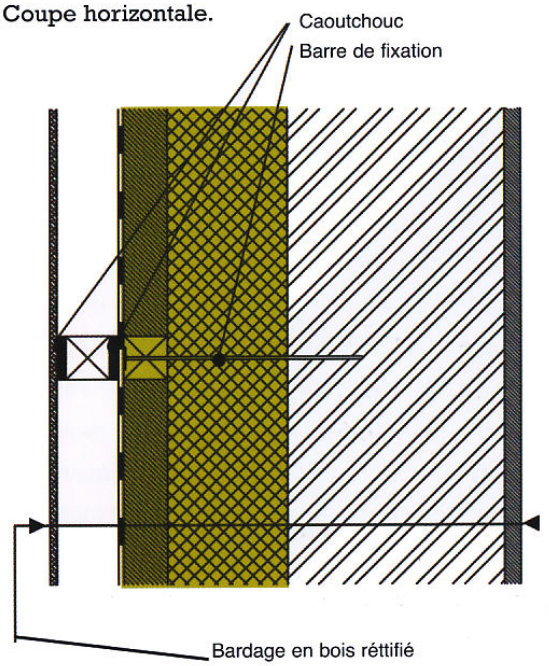



**Thermographie : les points jaunes dans la surface bleue représentent des ponts thermiques ponctuels causés par les chevilles pour la fixation de l'isolation. La marque jaune la plus grande représente le point d'attache des échafaudages.**

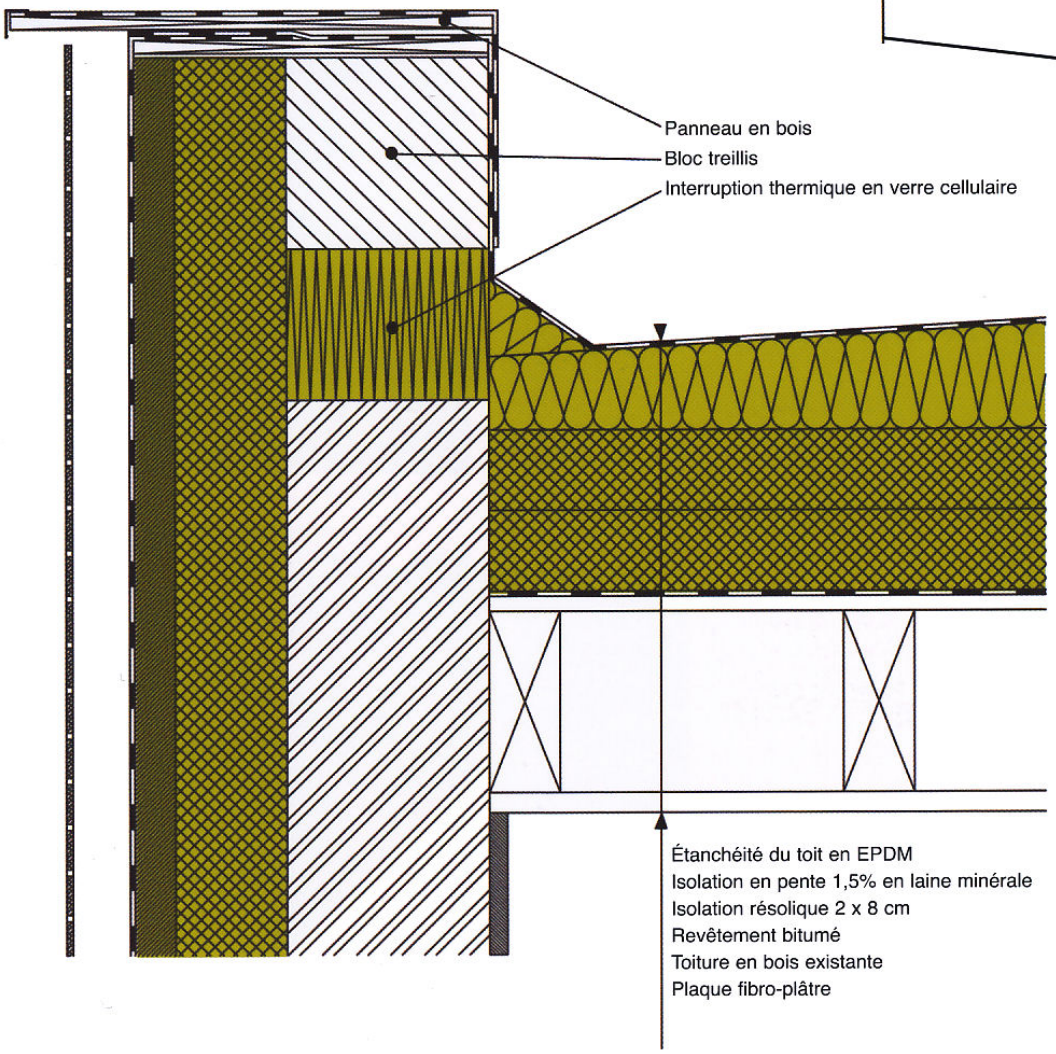


**Ouverture dans l'isolation aux points d'attache des échafaudages.**

Coupe horizontale.




Raccord toit plat et façade arrière.



## Stratégies thermiques

**L'hiver**

La façade arrière du bâtiment est orientée vers le sud. L'installation d'une grande baie dans la pièce de vie permet des gains solaires en hiver et, par conséquent, une baisse des besoins de chauffage. L'habitation est ventilée par un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur connecté à un puits canadien. Ce système, permet à l'air entrant d'atteindre une certaine température avant d'être insufflé dans l'habitation, ce qui évite un courant d'air froid permettant ainsi la baisse des besoins de chauffage et de la fréquence d'allumage. Le post-chauffage se réalise par le chauffage mural dans la pièce de vie et les chambres. La cuisine est équipée d'une hotte à recirculation pour réduire les pertes calorifiques.

**L'été**

Pour éviter la surchauffe en été, les propriétaires installeront ultérieurement une protection solaire sur la façade arrière. Le puits canadien assure le pré-refroidissement de l'air de ventilation entrant. afin que l'air chaud venant de l'extérieur ne soit pas aspiré. Un by-pass dans l'appareil empêche l'air entrant de passer par l'échangeur de chaleur en été, si bien qu'il n'est pas chauffé par l'air extrait.

Hotte à re-circulation dans la cuisine.

Appareil de ventilation double flux.

Tube vertical connecté au puits canadien, avec un puisard d'accueil pour l'eau de condensation.

Filtres amovibles.

**Ventilation**

La ventilation de l'habitation s'effectue par un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur. Avant d'entrer dans l'appareil de ventilation, l'air frais passe par un puits canadien qui le préchauffe en hiver ou le pré-refroidit en été au moyen de l'échange de chaleur avec le sol. Comme le jardin arrière n'était pas assez grand pour un long tuyau souterrain, le tuyau a été divisé en deux tuyaux parallèles d'une longueur de 15 m et un diamètre de 160 mm. Ce grand diamètre réduit la vitesse de l'air lui permettant un échange plus long avec le sol avant d'entrer dans le bâtiment. Le tuyau souterrain est couplé avec un tube vertical et un puisard d'accueil en bas pour l'eau de condensation. L'air extérieur est aspiré par une caisse en métal, située dans le jardin arrière, elle filtre l'air avant le passage dans le puits canadien. Après le passage par ce tuyau, l'air pénètre dans l'échangeur de chaleur de l'appareil de ventilation. Il est ensuite chauffé par l'échange avec l'air vicié extrait de la maison. Puis cet air est insufflé dans la pièce de vie et les chambres et extrait via la cuisine, la salle de bains et les toilettes. S'inquiétant des nuisances acoustiques du système, les propriétaires ont opté pour l'installation d'un système insonorisé supplémentaire.

Caisse en métal pour l'aspiration d'air frais.

Chauffage mural, finition en plâtrage argile.

L'air aspiré est filtré avant d'être envoyé au puits canadien.

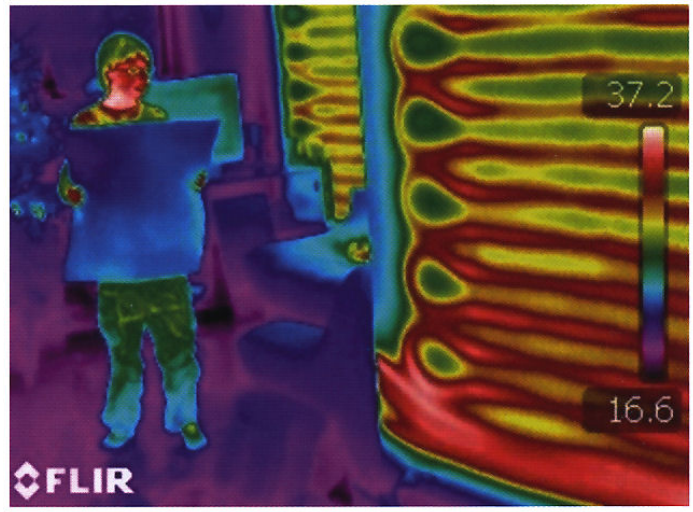
### Chauffage

Le système de ventilation permet une baisse du besoin de chauffage. Puisqu'il faut cependant un chauffage supplémentaire pour les mois d'hiver, les propriétaires ont installé un système de chauffage mural dans la pièce de vie et les chambres. Ce système fonctionne au moyen d'eau chaude produite par une chaudière à gaz à condensation. Le dimensionnement de la chaudière demeure limité grâce au fonctionnement à basse température du chauffage mural, comparable à celui du chauffage par le sol. Ici le chauffage mural comprend un système de conduites attachées aux murs et puis il a été couvert de plâtrage en argile. Chaque mur a été pourvu d'un circuit individuel, ce qui permet un certain degré de flexibilité. En fonction du besoin de chauffage un ou plusieurs systèmes peuvent être activés. Certains circuits peuvent être activés ou désactivés en fonction de la position de l'ameublement : il ne faut pas inutilement activer le chauffage mural derrière des meubles.

La salle de bains était initialement équipée d'un radiateur électrique supplémentaire. Mais celui-ci n'ayant pas encore été employé, les propriétaires ont décidé de l'enlever.

### Eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire est actuellement produite par une chaudière à gaz à condensation avec un réservoir de stockage intégré de 18 l qui fournit l'eau chaude au début d'une douche. L'eau utilisée de la douche passe par un échangeur de chaleur de douche et chauffe ensuite l'eau de conduite froide par l'échange de chaleur. Cet échangeur de chaleur de douche n'est qu'un tuyau à double paroi connecté aux conduits d'arrivée et d'évacuation. L'eau chaude écoulée passe par le tuyau central et l'eau froide est amenée par le revêtement environnant en contre-courant, ce qui permet un échange de chaleur. Puis l'eau de conduite préchauffée passe par la chaudière à gaz à condensation. Ce sytème permet à la chaudière de consommer moins d'énergie pour le chauffage d'eau chaude sanitaire.
Dans le futur, les propriétaires envisagent l'installation de capteurs solaires pour la production d'eau chaude sanitaire.



Photographie infrarouge du chauffage mural.

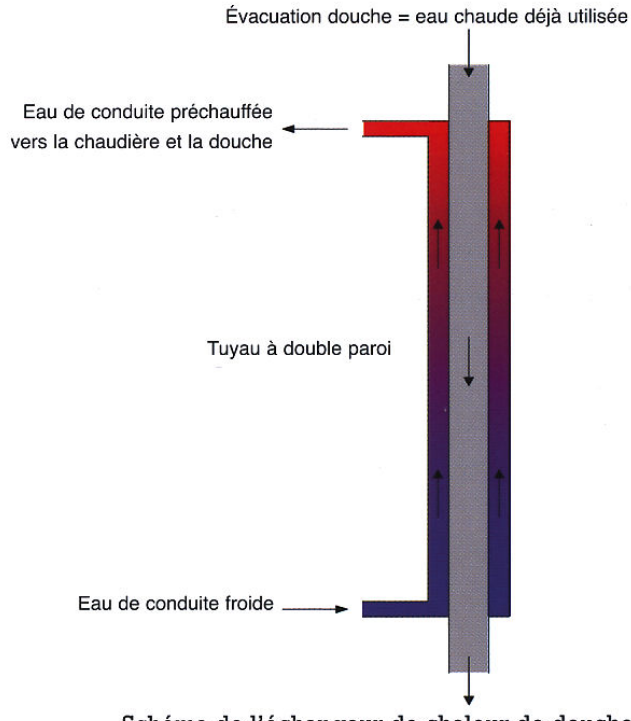


Schéma de l'échangeur de chaleur de douche.

### Électricité

Des panneaux photovoltaïques d'une surface de 40 m² ont été montés sur le toit plat du bâtiment. Puisque initialement la force portante de la toiture existante s'avérait insuffisante, le maître d'ouvrage a cherché un système plus léger que celui des pannaux classiques. Son choix s'est finalement porté sur des tuyaux cylindriques fixés dans un châssis. Ce système ne pèse que 16 kg/m² répondant ainsi aux contraintes liées à la force portante maximale de la toiture calculée par l'ingénieur à 20 kg/m². L'entrée de lumière de toutes part constitue un avanatge supplémentaire de ce système. En appliquant un film blanc à la surface du toit, la lumière se réfléchit sur le dessous des tuyaux. La pression du vent demeure limitée compte tenu de sa structure ouverte. Pratiquement toute la surface de toit était mise à profit, à l'exception des puits de lumière.

Les puits de lumière apportent la lumière du jour à la cage d'escalier et à la salle de bains, diminuant le besoin de lumière artificielle et la consommation d'électricité.

Pour réduire davantage la consommation d'énergie, les propriétaires ont choisi d'installer une machine à laver "hotfill" et un séchoir avec pompe à chaleur. Contrairement aux machines à laver traditionnelles, la machine à laver "hotfill" est raccordée à la conduite d'eau froide et également à la conduite d'eau chaude. L'eau chaude et l'eau froide sont mélangées dans la machine pour atteindre la température nécessaire pour le programme de lavage en question. La machine ne consomme donc pas d'électricité pour le chauffage de l'eau.

Panneaux photovoltaïques sur le toit plat.

Puits de lumière dans la cage d'escalier.

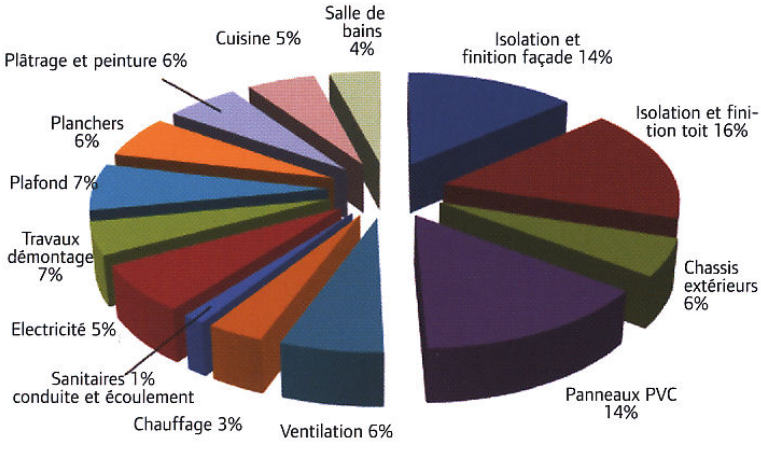



Diagramme des coûts.

## Budget

Après l'achèvement des deux phases d'exécution, les coûts totaux s'élèvent à 147 500 € . En étalant par stade la rénovation, les frais sont répartis sur une période plus longue. De plus, le maître d'ouvrage a effectué une partie des travaux lui-même, ce qui a réduit le prix de la rénovation.

## Expériences à partager

### Eau

Les propriétaires ont choisi de ne pas installer de baignoire dans la salle de bain, mais une douche à entrée libre avec deux têtes de douche équipées de leur propre système de réglage.

### Matériaux et procédés constructifs

Pour la menuiserie, ils ont opté pour le bois certifié FSC et le bardage de la façade arrière en bois rétifié. Le plâtrage à l'intérieur a été effectué à argile, un matériau naturel à faible énergie grise. Un inconvénient possible de ce plâtrage est qu'il est plus facilement endommageable par rapport au plâtrage ordinaire.

### Mobilité

Le maître d'ouvrage a délibérément choisi de demeurer dans un environnement urbain. La famille partage une voiture avec le voisin et se sert le plus possible du vélo pour ses déplacements , les enfants habitent près de l'école, les parents près de leur travail.

### Biodiversité

La maison se situant en ville, les espaces verts y sont rares. Cependant il y deux grands parcs municipaux dans les environs et la maison dispose de son propre petit jardin. L'idée initiale était d'installer une toiture végétale sur le toit plat, mais puisque la toiture ne le permettait pas, cette idée a été abandonnée.

### Confort thermique

Après la réalisation des deux premieres phases de rénovation, la famille est très satisfaite du confort intérieur. Les proriétaires ressentent une différence de confort thermique importante entre la façade avant qui n'a pas encore été rénovée et la façade de arrière rénovée. Il y aussi une différence notable entre les fenêtres passives de la façade arrière et les fenêtres existantes de la façade avant.

Aux fenêtres existantes se manifeste un pont thermique perceptible, ce qui n'est pas du tout le cas avec les fenêtres passives. Dans la pièce de vie et les chambres, le chauffage mural assure un confort thermique agréable. Après la réalisation du deuxième stade d'exécution, on a mesuré la concentration de $CO_2$, l'humidité relative et la température pendant deux semaines. La concentration de $CO_2$ a été mesurée dans la chambre à coucher et les pics et creux du graphique reflètent nettement l'usage de la pièce : lors de la nuit la concentration de $CO_2$ dans la chambre est clairement supérieure à celle du jour et présente des pics jusqu'à 1200 ppm. Des valeurs entre 800 et 1000 ppm constituent une bonne qualité d'air et jusqu'à 1400 ppm il s'agit d'une qualité acceptable. Des valeurs supérieures à 1400 indiquent une basse qualité d'air. Les creux les plus bas se présentaient aux moments où la porte de la chambre était ouverte ; les pics les plus hauts aux moments où elle était fermée. Par conséquent les propriétaires souhaitant éliminer les pics les plus hauts en améliorant la circulation d'air via la porte. L'humidité relative dans la chambre varie autour de 55 % et approche ainsi la valeur optimale de 50 %.

| | Projet | Projet PV compris | Parc immobilier | Nouvelle construction | Basse énergie | Passif |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Electroménager | 49 | 0 | 75 | 43 | 43 | 23 |
| Cuisine | 8 | 0 | 11 | 9 | 9 | 9 |
| Eau chaude | 23 | 23 | 33 | 28 | 22 | 11 |
| Chauffage | 62 | 62 | 220 | 132 | 66 | 17 |

**Consommation annuelle d'énergie primaire par $m^2$.**

**Réglage et maintenance**

Le maître d'ouvrage suit la consommation de près et peut corriger les systèmes là où il le faut. En ce qui concerne la maintenance, il faut régulièrement remplacer ou nettoyer les filtres du système de ventilation. Le puisard d'accueil pour l'eau de condensation du puits canadien doit être vidé tous les six mois. Il faut en outre que les conduites du système de ventilation soient accessibles pour le nettoyage afin de garantir la qualité de l'air intérieur.

**Consommations**

| Consommation après rénovation | kWh/m².an | kWh/an |
|---|---|---|
| Consommation d'énergie primaire (chauffage + eau chaude sanitaire) | 85 | 10.880 |
| Consommation d'énergie primaire cuisine | 8 | 1024 |
| Consommation d'énergie primaire électrique | 0 | 0 |
| **Consommation d'énergie primaire totale** | **93** | **11904** |
| **Besoin de chauffage** | **56** | **7198** |

Volume chauffé : 493 m³

Surface de déperditions : 260 m²

Compacité : 1,9

Surface de plancher chauffée : 128 m²

Les panneaux photovoltaïques produisent en moyenne 3400 kWh par an et couvrent ainsi amplement le besoin d'électricité actuelle de 2500 kWh/an. Il y a donc une surproduction d'électricité. Les propriétaires pourraient remplacer la cuisinière à gaz par un appareil électrique afin de pouvoir profiter de ce surplus.

# Conclusion

En répartissant la rénovation en phases différentes les propriétaires ont put occuper la maison dès l'installation des systèmes techniques et la finition du logement à l'intérieur. Les travaux restants sont effectués principalement à l'extérieur de l'habitation. En outre, le phasage de la rénovation permet d'étaler certains travaux pour des raisons financières.

Le projet démontre que la rénovation au standard passif est un grand puzzle et que sa résolution est un défi. En considérant les différentes installations, matériaux et systèmes de construction, on peut atteindre un résultat optimal. Les interventions d'économie d'énergie ne signifient pas nécessairement des installations complexes, ce qu'illustrent l'échangeur de chaleur de douche, la hotte à recirculation, les puits de lumière, le puits canadien, etc. Il est surtout important de prêter assez d'attention à la bonne exécution des travaux. De même les renseignements sur la méthode de mise en oeuvre et sur les conséquences d'une exécution mauvaise ou imprécise sont essentiels aux rénovations basse énergie ou passives. En effet, une mauvaise exécution peut avoir de grandes répercussions sur la performance énergétique finale du bâtiment.

La rénovation reflète l'impact potentiel de certains travaux sur la performance énergétique d'un bâtiment. Dans ce cas l'habitation pouvait déjà être étiquetée "basse énergie" après le deuxième stade d'exécution, même sans l'isolation de la façade avant et le plancher vers la cave. Les propriétaires espèrent que le logement sera une vraie maison passive après l'achèvement du dernier stade d'exécution.

Polyuréthane

Brique

# Maison à Oudenaarde...

## Description de la rénovation

Fonction du bâtiment avant rénovation | Entrepôt
Calendrier | Début 2007 - Fin 2007
Programme de la rénovation | Habitation unifamiliale
Besoins en chauffage avant travaux | non significatif
Besoins en chauffage après travaux | 14,7 kWh/m²
Surface brute | 281 m²

## Particularités du projet

Construction mise en boîte
Puits canadien

## Difficultés rencontrées

Étanchéité de l'habitation

## Intervenants

Maître d'ouvrage | Mr Van Dorpe
Architecte | Dirk Baert & Bernard Libert
Bureau d'étude | Ir. Arch. Rik Van Rossen

## Standard énergétique

Maison passive

## Techniques d'isolation et matériaux

Sols |
U=0.112w/m²K R= 8,9 m².K/W
Mousse PUR injectée 25 cm
Murs |
U=0.059 w/m²K R= 16,9 m².K/W
Isolation polyuréthane 16,4 cm

Toitures |
U=0.080 w/m².K - R= 12,5 m².K/W - Isolation par l'extérieur : 10 cm + isolation entre poutre 19 cm cellulose

## Châssis

bois U=0,80 W/m²K

## Vitrage

Triple vitrage U=0,6 W/m²K

## Chauffage

Convecteurs électriques

## Eau chaude sanitaire

Production via boiler électrique
Possibilité de raccorder un chauffe-eau solaire

## Ventilation

Système D à double flux

Fiche réalisée par la Passief Huis Platform

LEHR

CSTC - WTCB - BBRI

# Introduction

## Contexte

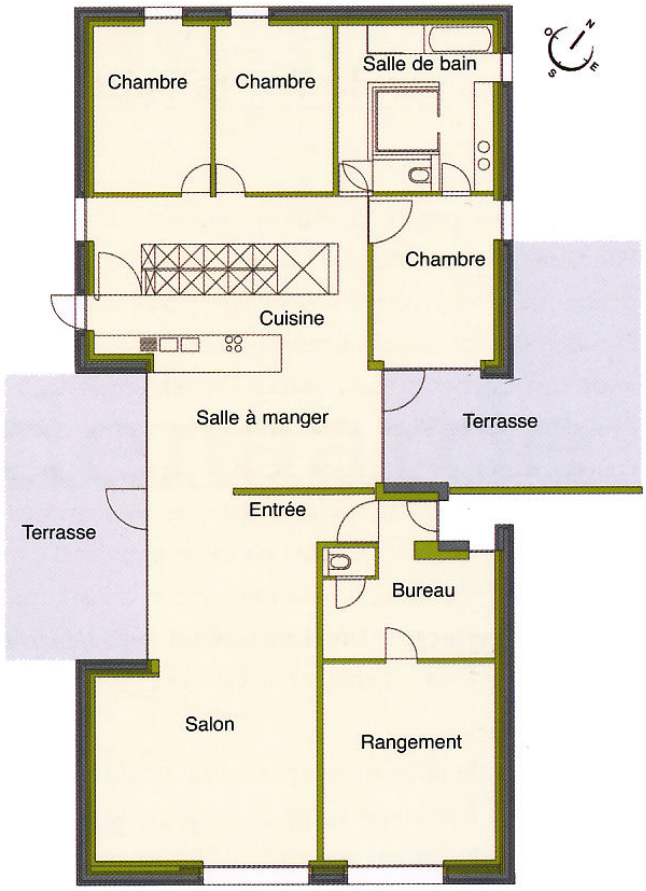
Il y a 15 ans, le propriétaire actuel avait acheté ce bâtiment comme atelier. Il se trouve à côté du parking d'un supermarché et est accessible par une rue étroite. Désirant un atelier plus grand, les propriétaires envisageaient la vente du bâtiment, mais leur départ impliquait la suppression du permis d'exploitation.
Trouver un acheteur étant impossible, ils ont décidé de rénover l'atelier et de le transformer en une habitation unifamiliale. La demande d'autorisation pour modifier le permis de lotir en une zone d'habitation a été déposée mais rejeté après huit mois, malgré une interjection d'appel. Entretemps le propriétaire s'est informé sur la construction passive, qui avait éveillé son intérêt. Ce serait donc une rénovation passive. Une deuxième demande de permis (mai 2006) a été également rejetée par la province, mais grâce à une argumentation personnelle, l'appel a été accepté. Les travaux pouvaient finalement démarrer et après un an et demi la famille s'est installée dans la nouvelle maison.

La surface originale de l'atelier s'avérait amplement convenable pour un logement pour une famille avec 2 enfants. La réorganisation du volume existant permet à l'habitation de maintenir le projet sur un seul niveau. Les pièces de vie sont orientées au sud et à l'ouest, les chambres à coucher, la salle de bains et le bureau nord et à l'est.

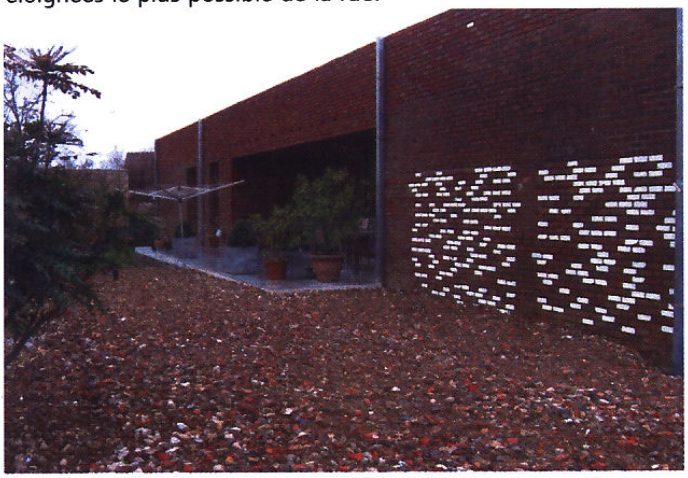
Situation.

## Conception architecturale

Le volume du bâtiment a été quasiment préservé. Des baies supplémentaires ont été installées afin de permettre l'entrée suffisante de la lumière du jour. Les pièces de vie se trouvent dans un seul espace et communiquent entre elles. Une paroi entre la salle à manger et le salon permet une séparation visuelle. Ces deux pièces avoisinent une terrasse avec un plancher qui continue visuellement de l'intérieur à l'extérieur. Dans le salon, les propriétaires ont opté pour un ensemble de grandes fenêtres orientées vers le sud-est. La fenêtre a été avancée vers l'intérieur dans le volume du bâtiment, créant une saillie qui donne de l'ombre en été. Une cloison en bois à l'extérieur permet de préserver l'intimité sur la terrasse et la salle à manger qui constitue le prolongement de la paroi entre la salle à manger et le salon. Les chambres, la salle de bains, le bureau et le sellier se situent autour des pièces de vie et les chambres et la salle de bains sont éloignées le plus possible de la rue.




Rez-de-chaussée.



Façade sud-ouest.

Façade nord-ouest.

Chambre avec vue sur la terrasse.

# Amélioration de l'enveloppe

## Structure

La structure existante de l'ancien atelier a été préservée. Puisque sa surface suffisait, l'isolation a été réalisée suivant le principe de construction de mise en boîte (boîte dans la boîte) : l'enveloppe a été complètement doublée à l'intérieur du bâtiment. Une ossature en bois isolée a été mise en place à l'intérieur des murs extérieurs et le toit a été entièrement isolé. Le nouveau plancher de la maison est en béton poli sur un paquet d'isolation de 25 cm. Puisque les parois et le toit sont construits en ossature en bois, le plancher en béton pourvoit à l'inertie thermique de l'habitation : il emmagasine la chaleur dans sa masse et la restitue plus tard. Ce procédé permet à l'habitation d'avoir des échanges thermiques moins rapides avec l'extérieur.

## Composition des parois rénovées

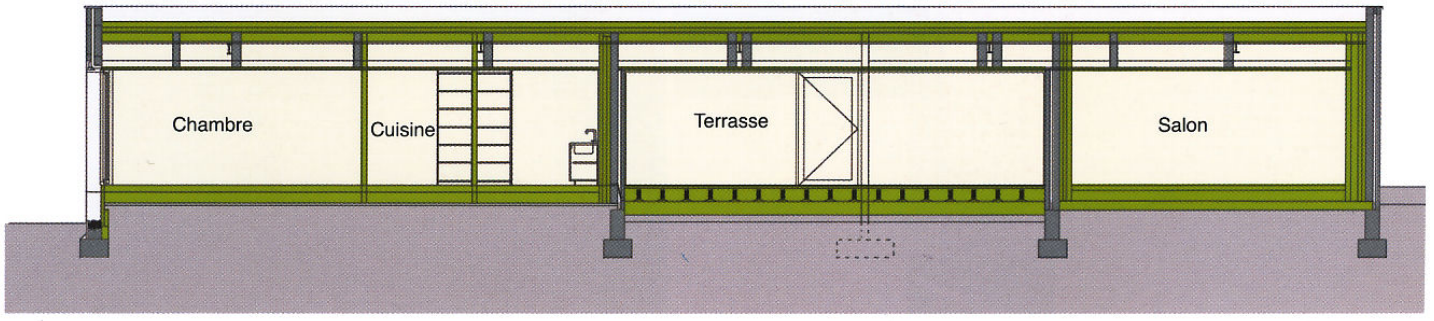
**Toit plat**

| | |
|---|---|
| Étanchéité du toit | |
| Isolation PUR (polyuréthane) | 10 cm |
| pare-vapeur | |
| Panneau en fibres de bois existant | 4 cm |
| Poutres existantes/nouvelles + isolation cellulose | 19 cm |
| Pare-vapeur | |
| Vide des conduites de ventilation | 40 cm |
| Grillage rempli de laine de roche | 15 cm |
| Lattage | 3 cm |
| Carreau de plâtre | 0,9 cm |
| Plâtrage | 1 cm |
| **U = 0.080 W/m²K** | **92,9 cm** |

**Murs**

**Mur extérieur de la façade avant**

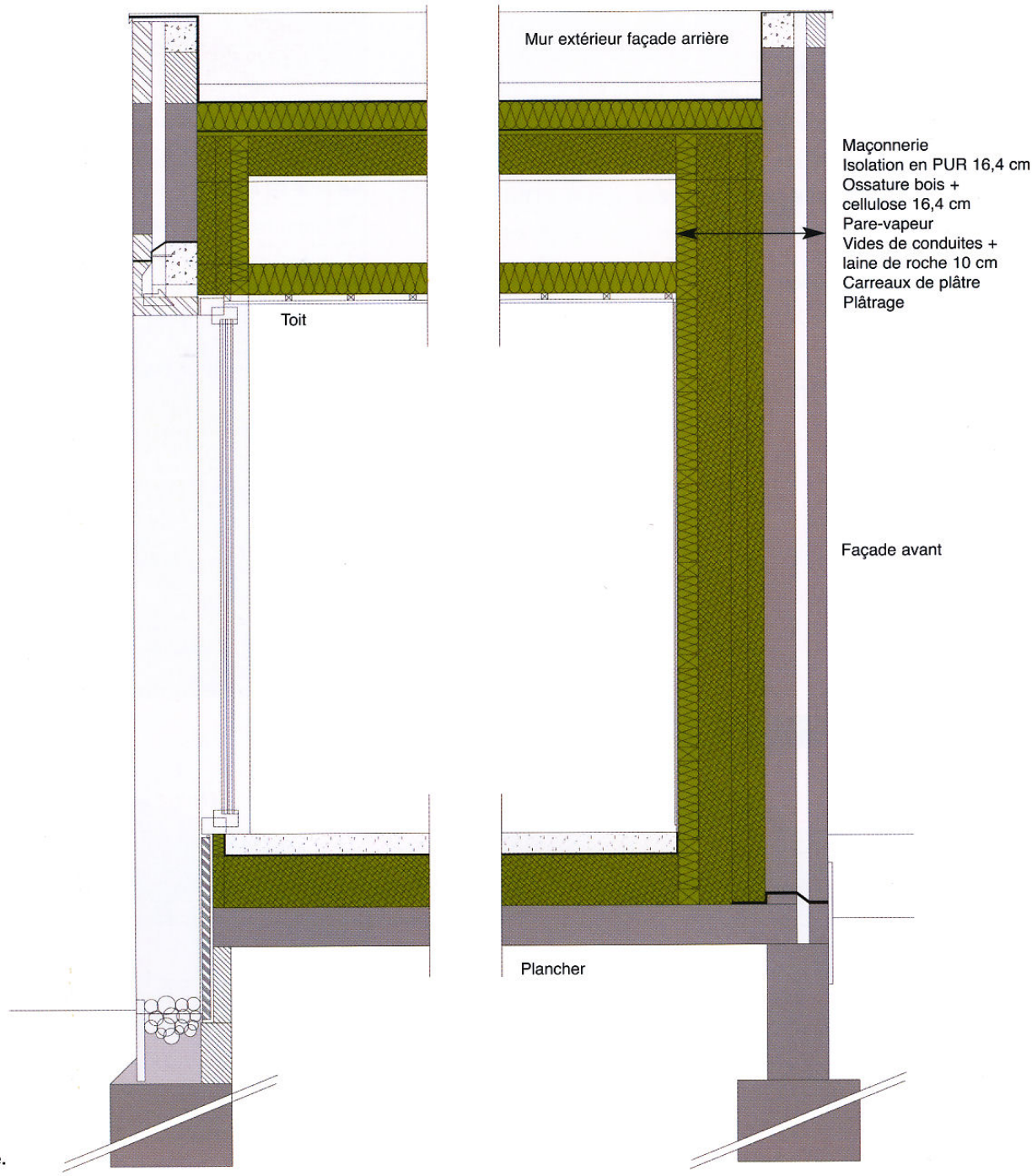
| | |
|---|---|
| Maçonnerie existante du mur intérieur | 14 cm |
| Panneau d'isolation en PUR | 16,4 cm |
| Ossature en bois et isolation en cellulose | 16,4 cm |
| Pare-vapeur | |
| Vide de conduites chevrons + laine de roche | 10 cm |
| Carreau de plâtre | 0,9 cm |
| Plâtrage | 1 cm |
| **U = 0.059 W/m²K** | **58,7 cm** |




Coupe transversale.

**Mur extérieur (façade avant non comprise)**

| | |
|---|---|
| Maçonnerie existante du mur intérieur | 14 cm |
| Panneau d'isolation en PUR | 16,4 cm |
| Pare-vapeur | |
| Vide de conduites chevrons + laine de roche | 10 cm |
| Plâtrage | 1 cm |
| **U = 0.103 W/m²K** | **42,3 cm** |




Coupe transversale.

**Sols**
**Plancher**

| | |
|---|---|
| Dalle en béton poli armé | 15 cm |
| Feuille PE | |
| Mousse PUR injectée | 25 cm |
| Chape en béton | 5 cm |
| Sol non remué | |
| **U = 0.112 W/m²K** | **45 cm** |

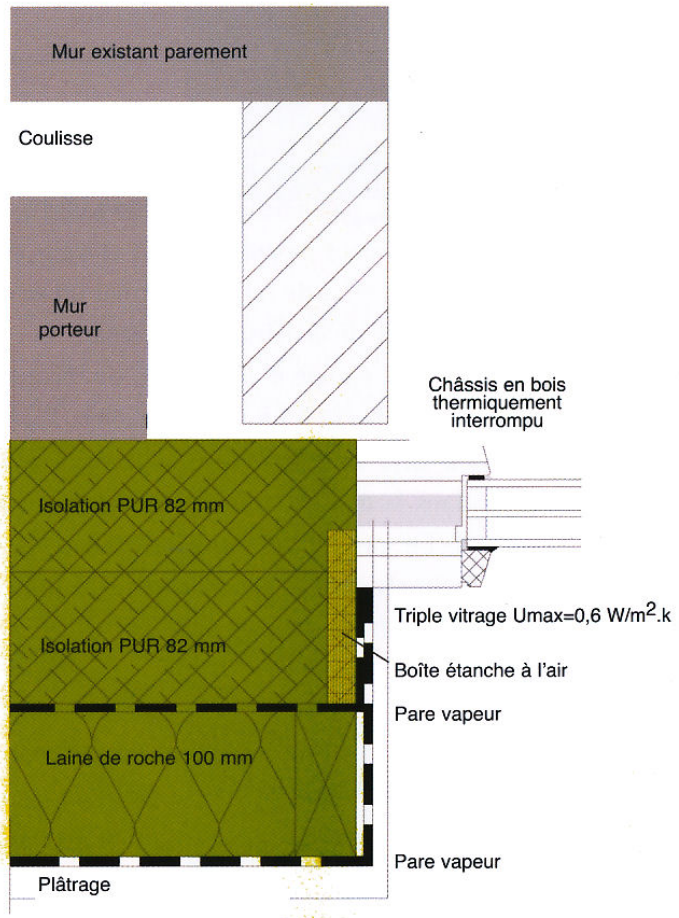
**Fenêtres**

Châssis en bois à coupure thermique à triple vitrage .
Valeur U moyenne de l'ensemble : 0,76 W/m².K
Valeur Uf (châssis) : 0,80 W/m².K
Valeur Ug (vitrage) : 0,60 W/m².K

## Ponts thermiques

Les murs intérieurs porteurs ont été thermiquement interrompus à leur base par la mise en place d'un bloc isolant en béton cellulaire et d'un isolant en verre cellulaire à l'amorce du mur.

Porte passive sur la terrasse.




Coupe horizontale du raccord mur et châssis.

## Étanchéité

Le plafonnage intérieur assure l'étanchéité à l'air de l'habitation. Un test BlowerDoor indiquait une valeur n50 de 0,47h-1. La maison répond au standard passif qui impose nivreau d'étanchéité maximale de 0,6 h-1, soit un maximum de 0,6 volumes d'infiltration d'air par heure pour une différence de pression de 50 Pa.

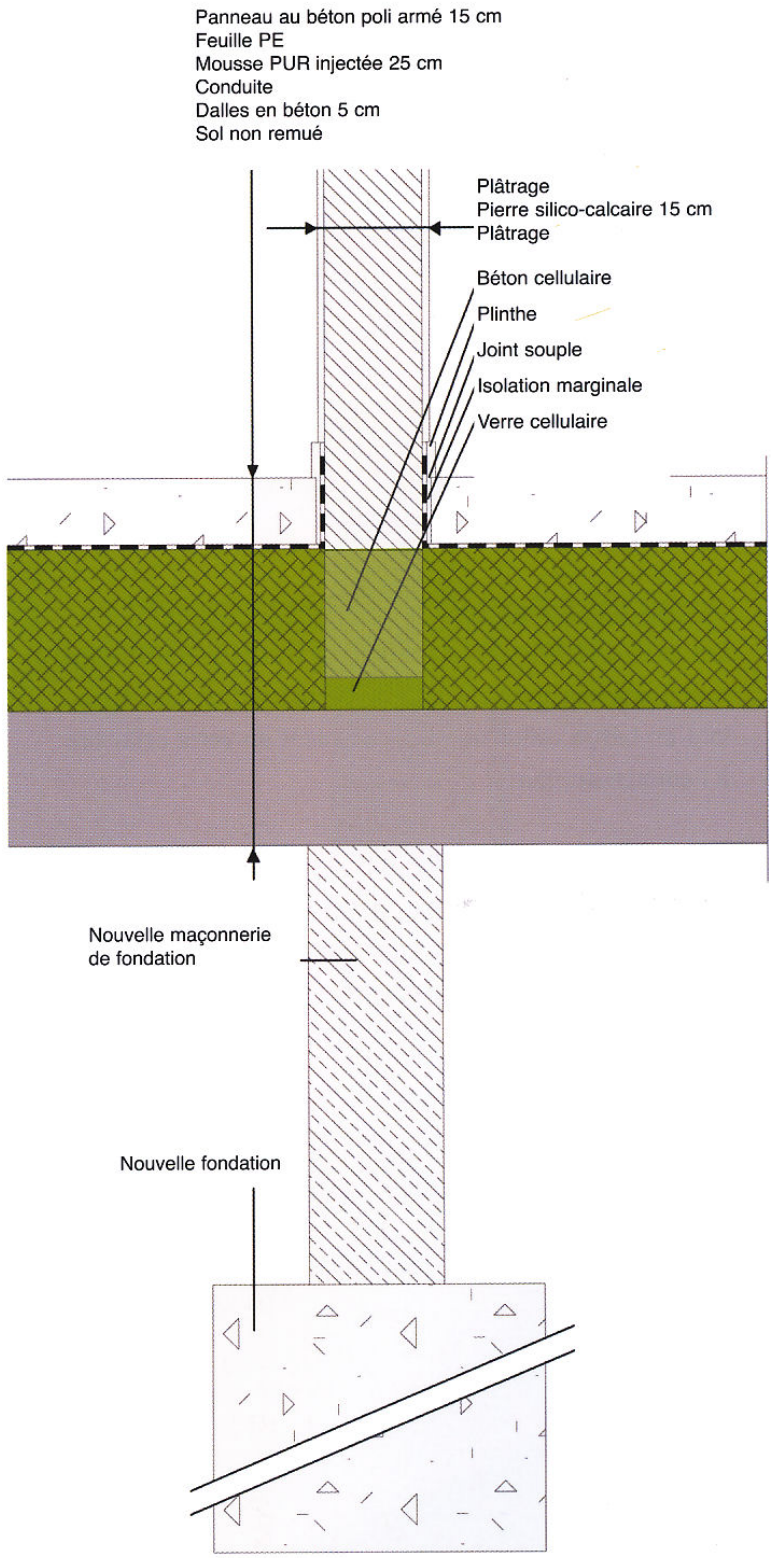
## Stratégies thermiques

**L'hiver**

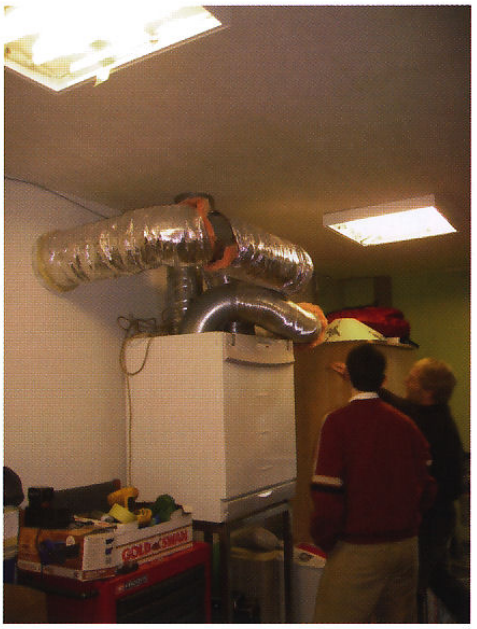
Grâce aux baies bien choisies, les apports solaires en hiver peuvent être maximisés. Le plancher en béton a une grande inertie si bien qu'il peut emmagasiner la chaleur et la restituer plus tard. Cet effet de tampon permet un refroidissement moins rapide de la maison. Le système de ventilation double flux est équipé d'un appareil de récupération de chaleur et connecté à un puits canadien. L'air de pulsion atteindra déjà une certaine température avant d'être insufflé dans la maison, tout en évitant des courants d'air froid. En cas de nécessité des éléments de chauffage additionnels dans la pièce de vie et la salle de bains assurent le chauffage supplémentaire.

**L'été**

En été, les apports solaires sont minimisés par les protections solaires : la grande fenêtre dans la pièce de vie est ombragée par une saillie et la façade est protégée par un pare-soleil au-dessus de la terrasse. De même les autres baies seront pourvues de protections solaires. Un puits canadien pré-refroidira l'air entrant en été pour que l'air chaud ne soit pas directement aspiré de l'extérieur à l'intérieur.




Interruption thermique du mur intérieur - fondation.

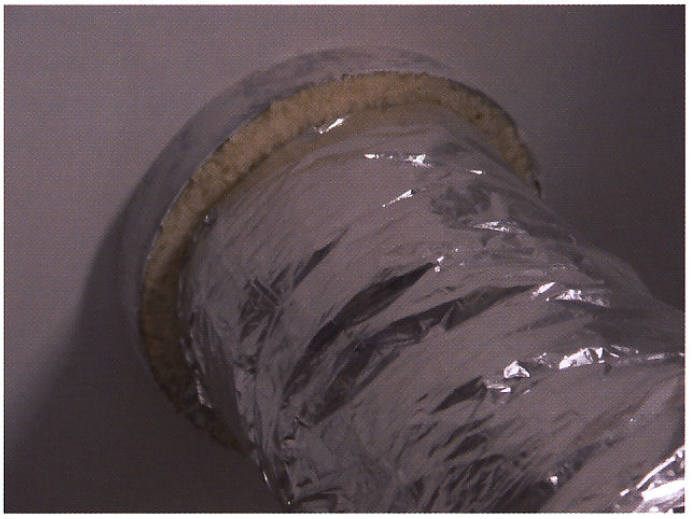


Appareil de ventilation double flux.

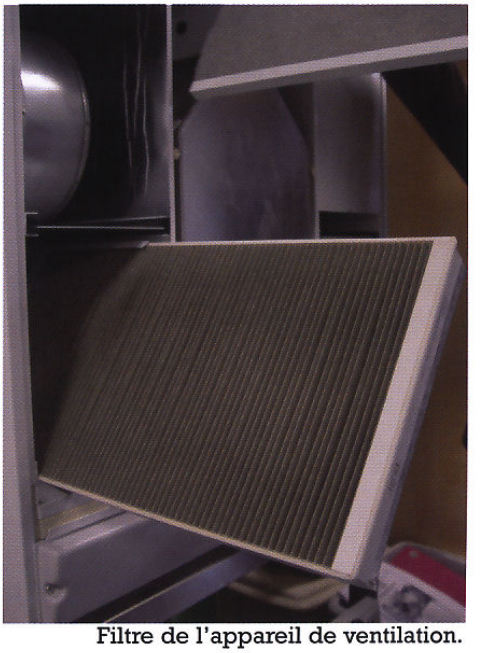
L'appareil de ventilation avec récupération de chaleur.

**Ventilation**

La maison est équipée d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur. L'amenée d'air frais s'effectue via le puits canadien qui le préchauffe avant l'entrée dans l'appareil de ventilation. L'air y sera chauffé davantage par l'échange de chaleur avec l'air extrait. Le système de ventilation fonctionne totalement indépendamment en fonction des données de mesure. L'humidité de l'air est mesurée dans la salle de bain et le rangement, alors que l'appareil de mesure de $CO_2$ se trouve dans la pièce de vie. Le système se régule ainsi constamment afin de produire un climat intérieur optimal. Les propriétaires peuvent également gérer le système eux-mêmes, mais cela n'est pas encore arrivé.



Isolation autour du canal de ventilation au raccord de mur.



Filtre de l'appareil de ventilation.

### Chauffage

Le système de ventilation assure le chauffage principal de l'habitation. Le chauffage d'appoint est assuré par des radiateurs électriques. La cuisine est équipée d'une hotte à recirculation afin d'empêcher l'air chaud intérieur de quitter la maison immédiatement.

### Eau chaude sanitaire

Un chauffe-eau solaire sera installé dans un second temps. Les conduites nécessaires ont été installées lors de la rénovation. Entre-temps, un chauffe-eau électrique garantit l'apport d'eau chaude sanitaire.

### Électricité

Les maîtres d'ouvrage ont prévu d'installer des panneaux photovoltaïques ultérieurement.

## Environnement

### Eau

La grande surface de toit du bâtiment permet un haut potentiel de récolte des eau de pluie. Dès lors deux citernes de 10 000 litres chacune ont été mises en place et celles-ci approvisionnent la toilette et la machine à laver. L'eau récupérée est également employer pour l'irrigation du jardin.

### Matériaux et méthodes constructives

Grâce à la préservation de la structure originale de l'ancien atelier et la modification minime du volume existante, peu de déchets de construction ont été produits. la construction de la mise en boîte à l'intérieur de l'habitation a entièrement été construite en bois.

### Mobilité

Les occupants travaillent ou vont à l'école dans les environs immédiats. Puisque l'habitation se trouve relativement près du centre de Nederename et à faible distance du supermarché, l'usage de la voiture demeure limité.

## Expériences à partager

### Confort thermique

Les occupants sont en général satisfaits du climat intérieur de l'habitation. Puisque la température dans la chambre des parents s'avère parfois un peu trop élevée en été, une protection solaire a été installée devant les fenêtres.

Pendant un mois et demi (mi-juin – début août) des mesures ont été faites. L'appareil de mesure $CO_2$ indiquait une teneur de $CO_2$ de 320 à 700 ppm, ce qui constitue une bonne qualité d'air. En comparaison, des teneurs jusqu'à 1000 ppm impliquent une qualité d'air moyenne, jusqu'à 1400 une qualité acceptable, et des teneurs supérieures à 1400 ppm une basse qualité d'air. Aussi bien en été qu'en hiver l'humidité d'air oscille autour de 50 %, soit la valeur optimale. Quant à la santé, il n'y a aucune différence entre la nouvelle maison passive et l'habitation précédente.

### Maintenance et gestion

En hiver, la température est maintenue autour de 20°C. Le système de ventilation répond la plupart du temps au besoin en chaleur. Le chauffage supplémentaire n'est nécessaire que lde jours les plus froids de l'année. Dans la salle de bains un petit appareil de chauffage électrique est activé le matin pour plus de confort. Les fenêtres restent fermées.

En été, la température intérieure dépasse rarement 25°C, température ressentie comme agréable par les occupants. En cas de températures plus élevées, les fenêtres sont ouvertes afin de permettre le refroidissement de l'habitation. En été et pendant les saisons intermédiaires, la porte de la cuisine reste ouverte pour le confort des occupants. Des appareils électroménagers économiques ont été achetés pour permettre une réduction de la consommation d'énergie.

**Consommations**

Surface du plancher chauffée : 281 m²

| Consommation | kWh/m².an | kWh/an |
|---|---|---|
| Consommation d'énergie primaire après rénovation (chauffage + eau chaude)* | 141,26 | 142.900 |
| Besoin de chauffage après rénovation** | 14,7 | 4131 |

*selon calcul PHPP ** selon calcul PEB flamand

Volume chauffé : 1 358 m³

Surface de déperditions : 1 140 m²

Compacité : 1,19 m

Le niveau élevé de la consommation d'énergie primaire s'explique par le fait que le chauffage d'appoint du bâtiment ainsi que la préparation d'eau chaude sanitaire sont électriques.

Couloir entre la cuisine, les chambres et la salle de bain.

## Budget

Le tableau ci-dessous présente les coûts des travaux nets. Il faut noter que les coûts des installations et de la finition du bâtiment n'ont pas été pris en compte. En outre, le maître d'ouvrage avait lui-même effectué bien des travaux, ce qui a notablement réduit les frais.

| | |
|---|---|
| Châssis extérieurs | 29 220 € |
| Isolation en laine de roche | 3 000 € |
| Pare-vapeur (installation non comprise) | 1 133 € |
| Panneaux en polyuréthane | 912 € |
| Isolation + étancheité du toit plat | 29 300 € |
| Plancher en béton | 13 000 € |
| Isolation du plancher | 9 800 € |
| Menuiserie | 15 000 € |
| Total (finitions et installations non comprises) | 101 365 € |
| Coûts des travaux de rénovation nets par m² | 361 € |
| Coûts du calcul PHPP | 1 400 € |

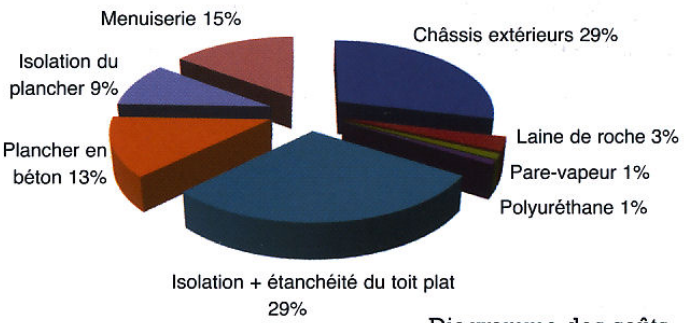



Diagramme des coûts.

Vue sur la cuisine et la salle à manger.

## Conclusion

Le projet démontre que le résultat d'une rénovation passive peut être une maison avec un caractère contemporain : de grands espaces ouverts, de grandes surfaces vitrées, des matériaux contemporains ... En outre, le standard passif est également réaliste pour des bâtiments moins compacts en faisant appel à certaines stratégies :

- isolation renforcée
- gestion et solution des ponts thermiques
- fenêtres et baies bien choisies
- plan d'aménagement réfléchi
- choix des installations techniques.

Le principe de mise en boîte a aussi montré son utilité : l'isolation du bâtiment à l'intérieur a permis de résoudre bien des problèmes en fait des ponts thermiques et d'éviter des jonctions et raccordements complexes. La mise en place de l'ossature en bois à l'intérieur entraîne toutefois l'inconvéniant d'une faible inertie du bâtiment. Ce problème a été résolu partiellement par l'installation d'un sol en béton poli. On peut conclure que cette maison est un bel exemple d'une rénovation passive réussie, sur le plan du climat intérieur ainsi que du projet.

Ci-contre : le salon et la cuisine.

## Crédit des illustrations et photos

**Partie théorique**

Jean-François Rixen : p.6, p.14,
Service Public Fédéral Economie : p.9
ICEDD asbl : p.9
Sophie Bronchart : p.11, p.32, p.55
Marc Poncin : p.12
http://www.carre.lu : p.14
www.energie.wallonie.be : p.16, p.44
Ministère de la Région wallonne – Optimisez votre maison, édition 2006 : p.16
Ministère de la Région wallonne – Pour une amélioration de la performance énergétique globale des logements neufs : édition 2004 : p.16, p.52
EURECA : p.11, p.17, p.20, p.23, p.26, p.27, p.28, p.40, p.41, p.42, p.43, p.46, p.47, p.49, p.55
http://www.constructeur-maison-49.com : p.22
Benoit Malève : p.24, p.38, p.43
www.ademe.fr : p.24
L'Inédite – "Maisons Passives" - Adeline Guerriat 2008 : p.16, p.30, p. 52
Olivier Alexandre : p.34, p.35, p.36
www.isoproc.be – André Baivier : p.45, p.46
JMD Ventilation : p.48, p.50
Grundfos : p.51
www.passeursdenergie.be : p.52
Gérome Forthomme : p.53

**Réalisations**

Les plans, coupes, façades et détails des réalisations ont été simplifiés et harmonisés par Perrine Thiry (Evere, Floreffe, Lesves, Saint Gilles et Saint Josse) et par Sophie Drion (Virton) sur base des documents graphiques fournis par les auteurs de projets.
Abréviations : H (haut), B (bas), C (centre), G (gauche), D (droite)

Evere : Madeline Demoustier : p.88, p.89(B), p.90 (H) et p.95 (H) - Sophie Bronchart : p.87, p.89(H), p.91, p.92, p.93, p.94, p.95(C, B), p.96, p.97, p.98 et p.99

Floreffe : Géraldine Dupont- Benoît Maleve : p.106, p.108, p.109, p.110 et p.111 - Sophie Bronchart : p.101 et p.107
Lesves : Emmanuel Nonet : p.117, p.121 - Michel Lequeux : p.120, p.123 (B), p.124 et p.125 - Sophie Bronchart : p.113, p.118, p.119, p.123 (H,C), p.126 ; p.127 et p.128
Saint Gilles : Eline Kirschfink et Georges Leurquin : p.139 (G), p.142 (H), p.143 - Gwenola Vilet : p.132, p.135(H), p.137et p.138 (G) - Sophie Bronchart : p.129, p.131, p.133, p.135 (H), p.138 (D), p.139 (D), p.140, p.141 et p.142 (B)
Saint Josse : Benoît Lagrange : p.146 (C) - Gérôme Forthomme p.146 (H), p.147 (H, C), p.150(H, C), p.152 (H), p.153 (B), p.155, p.156, p.157 (H), p.159 - Sophie Bronchart : p.145, p.146 (B), p.147 (B), p.149, p.150 (B), p.151 (B), p.152 (G, B), p.153 (H), p.154, p157 (B) et p158 - Matthieu Bourgeois : p.155 (D)
Virton : Marc et Amaryllis : p.161, p.163, p.164, p.165 (G), p.168, p.170 (B à d), p.171, p.172 (H, B à g), p.173, p.174, p175 - Sophie Bronchart : p.165 (D), p.170(B à g,H et C), p.172 (B à d)
Vincennes : Atelier Zündel & Cristea
Baule : CTVL entreprise Fousse construction
De Pinte : LEHR - Passif Huis Platform
Immeuble Sterrenveld : LEHR - Passif Huis Platform
Anvers : LEHR - Passif Huis Platform
Oudenaarde : LEHR - Passif Huis Platform

## Intervenants par projet

**Maison à Baule**
CTVL construction
Route nationale - 45130 Baule
Tél : (0033) 02 38 46 91 00

**Maison à Vincennes**
Maître d'œuvre
Atelier Zündel & Cristea
23, rue de la forge royale - 75011 Paris
Tél : (0033) 01 55 25 24 94 -mail : agence@azc-archi.com

**Maison à Evere**
Maître d'ouvrage | Madeline Demoustier et Gaël Hachez
Conception | FHW Architectes Madeline Demoustier – www.fhw.be
Etudes énergétiques | Bureau EcoRce - www.ecorce.be
Ossature - gros œuvre - couverture | Entreprise Farako
Crépi sur isolant | Sematec - www.sematec.be
Chauffage /Sanitaire | CB Chauffage - www.cbchauffage.com
aison Floreffe
Maître d'ouvrage | Géraldine Dupont et Benoît Malevé
Conception | Géraldine Dupont et Benoît Malevé
Etudes énergétiques | Géraldine Dupont et Benoît Malevé - bmaleve@hotmail.com
Réalisation en auto-construction
Gros œuvre | Entreprise Arnould
Zingueries et Velux | Toitures Luc Delhaye - www.toitures-luc-delhaye.be
Chauffage /Sanitaire | Gérard Billat - www.chauffage-billat.be/

**Maison à Lesves**
Maître d'ouvrage | Marie-Claude Doumont et Emmanuel Nonet
Conception | Mr Capiaux
Conception et études énergétiques | Bureau EURECA – www.eureca-net.be
Réalisation en auto-construction
Toiture et ossature bois | Etienne Marteau - etienne.marteaux@skynet.be - Blower Door : EURECA – www.eureca-net.be

**Maison à Saint Gilles**
Maître de l'ouvrage |Eline Kirschfink et Georges Leurquin
Architecte | Gwenola Vilet - www.gwenolavilet.be
Etude énergétique | Marc Montulet – montulet@rovabat.be
Entreprise de générale | Fery Di Paoli
Ventilation et insufflation cellulose | Limbourg et Fleury - www.limbourgetfleury.be
Châssis et étanchéité porte entrée | Weynand sprl
Toiture végétale | La Ferme Nos Pilifs
Ingénieur stabilité | Dufour sa
Blower Door : Del Thermographie - www.delthermographie.be

**Maison à Saint Josse**
Maître d'ouvrage | Laura Cerrato et Benoît Lagrange
Conception| Gérome Forthomme Brouae snc architecture & énergie - www.brouae.be
Etude énergétique | Brouae snc - www.brouae.be
Entreprise de générale | Entreprise Compté
Toiture | Rose's Natural home - luc.rose@skynet.be
Electricité | Gold security – www.goldsecurity.be

**Maison à Virton**
Maître d'ouvrage |Marc & Amaryllis - http://unegrangeen-gaume.be
Etude énergétique | EcoRce - www.ecorce.be
Conception : Marc PONCIN (maître de l'ouvrage agissant comme architecte par dérogation- ingénieur civil de formation)
Equipements solaires : IDEVY - www.idevy.be
Terrassements : Marc Siméon
Insufflation : Demagil sa - www.demagil.be
Entreprise de Charpente| Watelet Alex sprl

## Les auteurs

**Matthieu Bourgeois**
Ingénieur Industriel de formation, Master en énergie et environnement à l'université de Liège (ULg), spécialisé dans la thermique des bâtiments et le conseil en conception de projets basse énergie et passifs. Fondateur du bureau d'études et de conseils EURECA (Economies et Utilisation Rationnelle de l'Energie – Conseils et Accompagnement)
mail : mb@eureca-net.be

**Sophie Bronchart**
Architecte de formation spécialisée en architecture en terre crue (DPEA-Terre à CRATerre - Ecole d'architecture de Grenoble) et est aujourd'hui active comme conseillère énergie au sein du bureau d'étude EURECA (auditrice PAE –conseillère et certificatrice PEB).
mail : sb@eureca-net.be

**Jean-François Rixen**
Bio-Ingénieur de formation, spécialisé en écobiologie de l'habitat (Baubiologie, IBN, Allemagne), conseiller en éco-construction et rénovation durable et auto-constructeur (maison à ossature bois + technique du GREB).
mail : jifrixen@hotmail.com

**Remerciements**
*Cette publication est le résultat d'un travail collectif : maîtres de l'ouvrage, architectes et bureaux d'études se sont rendus largement disponibles pour nous aider à rassembler les informations utiles à la présentation des projets. Nous tenons à les remercier vivement pour le temps précieux qu'ils nous ont consacré.*
*Merci au bureau d'étude EURECA grâce à qui ce projet a pu se mettre en route.*
*Merci à nos familles respectives qui nous ont encouragé tout au long du travail de collecte d'information, de rédaction et de relecture.*

*Merci à Perrine, Sophie et Eléonore pour leur précieuse aide sur l'uniformisation des documents graphiques.*
*Merci à la Passief Huis Plateform grâce à qui la partie " réalisations " a pu être enrichie de 4 projets présentés dans le cadre du projet européen LEHR (www.lehr.be).*
*Merci à l'Inédite qui nous a permis de publier le résultat de nos recherches sur un sujet largement d'actualité.*

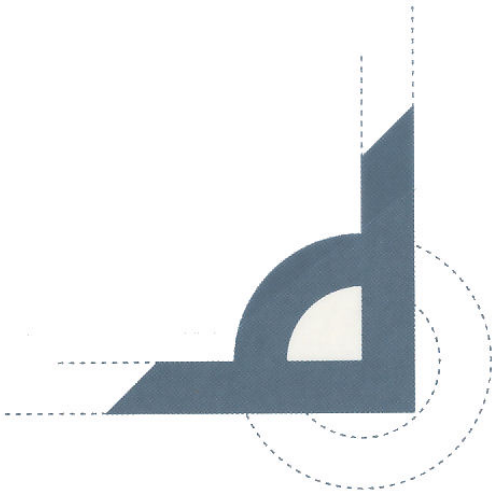
*Enfin, merci à tous ceux qui par leur savoir-faire, leur rigueur et leur créativité inventent tous les jours des solutions pour réussir des rénovations économes et confortables.*

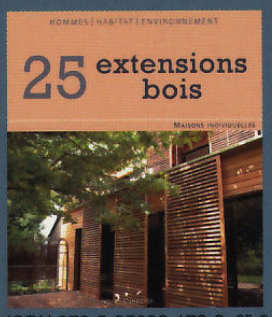
**Ce livre trouve son aboutissement grâce à la société Eureca qui n'a pas ménagé ses efforts dans le suivi de la rédaction.**

**www.eureca-net.be**

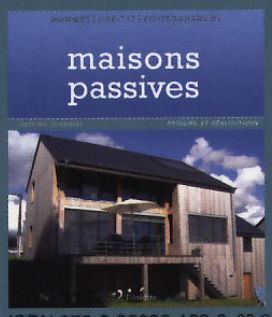
© L'Inédite
L'Inédite - 6, rue Deguerry - 75011 Paris
Tél :+0033 (0)1 40 21 35 42 - www.editionslinedite.com
Tous droits réservés pour tous les pays.

**ISBN : 978-2-35032-192-9**
**Dépot légal : 3ème trimestre 2010**
**Imprimé par Stige en Italie**

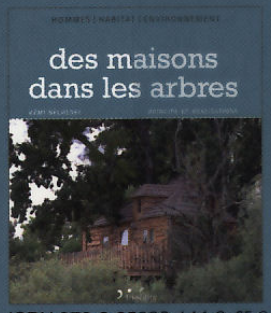




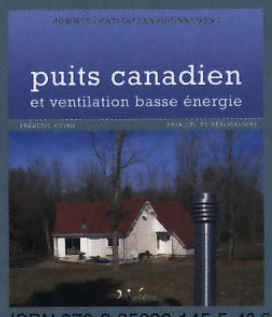

ISBN 978-2-35032-178-3. 25 €



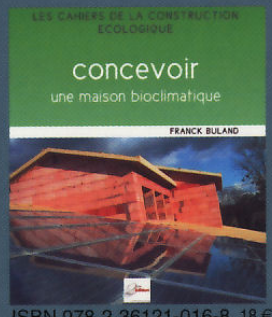

ISBN 978-2-35032-128-8. 32 €



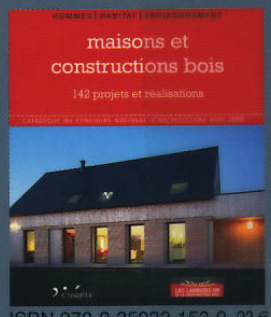

ISBN 978-2-35032-144-8. 25 €




ISBN 978-2-35032-145-5. 18 €



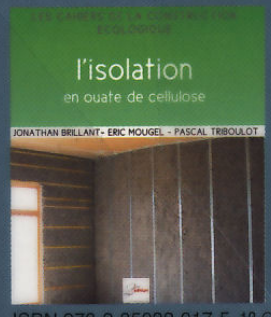

ISBN 978-2-36121-016-8. 18 €




ISBN 978-2-35032-153-0. 22 €

ISBN 978-2-35032-120-2. 45 €

ISBN 978-2-35032-122-6. 39 €




ISBN 978-2-35032-017-5. 18 €

La rénovation des bâtiments d'habitation est l'enjeu de ces prochaines années. Réduire la consommation énergétique et diminuer les émissions de $CO_2$ d'ici 2020 va nécessiter un effort important pour le monde du bâtiment. Les changements dans les pratiques de construction, l'apparition de nouveaux métiers ou du moins une meilleure qualification ainsi qu'une approche globale du bâtiment, sont nécessaires pour aborder ces nouveaux chantiers.

La rénovation BBC en France et la rénovation basse énergie en Belgique, visent le même objectif : réduire les consommations énergétiques, améliorer l'enveloppe du bâtiment.

Ce livre est le reflet d'une dizaine d'expériences en Belgique et en France. Nous avons voulu vous présenter des projets différents qui permettent d'avoir une vue d'ensemble sur les typologies de rénovation.

Ce livre de vulgarisation et d'information est destiné à un public professionnel (architectes, maîtres d'œuvre) et à un public averti.

ISBN 978-2-35032-192-9
Prix : 38 €
9 782350 321929